

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Danijela KODRNJA

**VPLIV ČISTILNE NAPRAVE NA STRUKTURO ZDRUŽBE  
BENTOŠKIH NEVRETEČARJEV V ORGANSKO  
OBREMENJENEM VODOTOKU VOGLAJNA**

DIPLOMSKO DELO  
Univerzitetni študij

**EFFECT OF SEWAGE TREATMENT PLANT ON THE  
COMPOSITION OF BENTIC INVERTEBRATES COMMUNITY IN  
ORGANICALLY LOADED RIVER VOGLAJNA**

GRADUATION THESIS  
University studies

Ljubljana, 2012

Diplomsko delo je zaključek univerzitetnega študija biologije na Oddelku za biologijo Biotehniške fakultete v Ljubljani. Praktično delo je bilo opravljeno na terenu in v laboratorijih Katedre za ekologijo in varstvo okolja Oddelka za biologijo.

Študijska komisija Oddelka za biologijo je za mentorja diplomskega dela imenovala prof. dr. Mihaela J. Tomana.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: doc. dr. Rudi VEROVNIK  
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo  
Član: doc. dr. Igor ZELNIK, recenzent  
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo  
Član: prof. dr. Mihael. J. TOMAN  
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Datum zagovora:

Podpisana se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki jo oddajam v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Naloga je rezultat lastnega razskovalnega dela.

Danijela Kodrnja

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Dn  
DK 556.55:574(497.4 Vogljajna)(043.2)=163.6  
KG čistilna naprava/bentoški nevretenčarji/vodotok/Vogljajna  
KK  
AV KODRNJA, Danijela  
SA TOMAN, J. Mihael (mentor)  
KZ SI- 1000 Ljubljana, Večna pot 111  
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo  
LI 2012  
IN VPLIV ČISTILNE NAPRAVE NA STRUKTURO ZDRUŽBE BENTOŠKIH  
NEVREtenČARJEV V ORGANSKO OBREMENJENEM VODOTOKU  
VOGLAJNA  
TD Diplomsko delo (univerzitetni študij)  
OP IX, 91 str., 8 pregl., 24 sl., 3 pril., 59 vir.  
IJ sl  
JI sl/en  
AI

V raziskavi smo želeli ugotoviti spremembe v vrstni pestrosti in sestavi združbe makroinvertebratov pred in po izgradnji centralne čistilne naprave Šentjur. Predvidevali smo, da bo čistilna naprava Šentjur dolgoročno zmanjšala vnos organskih snovi v reko in posledično vplivala na združbo nevretenčarjev. Merjenje fizikalnih, kemijskih in bioloških parametrov ter vzorčenje makroinvertebratov je potekalo trikrat na treh vzorčnih mestih na reki Vogljajni (P1 v zgornjem toku Vogljajne, P2 pred in P3 za čistilno napravo). Določili smo 83 taksonov makroinvertebratov. Najštevilčnejši so bili maloščetinci (Oligochaeta), postranice (Amphipoda) in dvokrilci (Diptera). Glede na način prehranjevanja, so na vseh vzorčnih mestih prevladovali detritivori, sledijo drobilci, plenilci, strgalci in filtratorji. Vrednosti Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa so pokazale veliko diverzitetno vodnih nevretenčarjev na vzorčnem mestu P1. Vrednost saprobnega indeksa je naraščala po toku navzdol. Zgornji del reke smo uvrstili v 2. kakovostni razred, na vzorčnem mestu P2 smo reko uvrstili v tretji oziroma četrti kakovostni razred, na mestu P3 pa drugi oziroma tretji kakovostni razred. Bray-Curtisov in Sørensenov indeksa nakazujeta, da so si bili vzorci med seboj prostorsko bolj podobni kot časovno. Kanonična korespondenčna analiza (CCA) je pokazala, da je na prisotnost in razporeditev posameznih taksonov makroinvertebratske združbe najbolj vplival pH.

## KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn  
DC 556.55:574(497.4 Vogljajna)(043.2)=163.6  
CX sewage treatment plant/bentic invertebrates/river/Vogljajna  
CC  
AU KODRNJA, Danijela  
AA TOMAN, J. Mihael (supervisor)  
PP SI- 1000 Ljubljana, Večna pot 111  
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Biology department  
PY 2012  
TI EFFECT ON SEWAGE TREATMENT PLANT ON THE COMPOSITION ON  
BENTIC INVERTEBRATES COMMUNITY IN ORGANICALLY LOADED  
RIVER VOGLAJNA  
DT Graduation thesis (University studies)  
NO IX, 91 p., 8 tab., 24 fig., 3 ann., 59 ref.  
LA sl  
AL sl/en  
AB

The aim of our research was to determine changes in species composition and macroinvertebrate community distribution before and after construction of Central sewage treatment plant Šentjur. We assumed that the sewage treatment plant would longterm reduce input of nutrients in the river and consequently cause changes in macroinvertebrate community. We measured physical, chemical and biological parameters and sampled macroinvertebrates three times at three different locations (P1 and P2 was upstream of sewage treatment plant Šentjur, P3 was downstream). We determined 83 taxa of macroinvertebrates. The most numerous were groups Oligochaeta, Amphipoda and Diptera. According to feeding groups analysis showed dominancy of detritivores at all three locations, followed by miners, predators, grazers and filtrators. The values of Shannon-Wiener index of diversity showed high diversity of bentic macroinvertebrates at location P1. The value of SI was increasing down the stream. We classified the upper stream in 2. quality class but location P2 can be ranged in the 3. or 4. quality class and location P3 in the 2. or 3. quality class. Analysis of Bray-Curtis and Sørensen index showed that environmental variables affected macroinvertebrate community more than seasonal impacts at different locations. Canonic correspondence analysis (CCA) was used to determine the share of explained variability of the macroinvertebrate community. The crucial factor influencing the macroinvertebrate community was shown to be pH.

## KAZALO VSEBINE

Ključna dokumentacijska informacija.....	III
Key words documentation.....	IV
Kazalo vsebine .....	V
Kazalo preglednic.....	VII
Kazalo slik.....	VIII
Kazalo prilog.....	IX
1 UVOD .....	1
2 PREGLED OBJAV .....	3
2.1 OPIS VOGLAJNE IN NJENEGA POREČJA.....	3
2.2 ONESNAŽEVANJE TEKOČIH VODA .....	6
2.3 SAMOČISTILNI PROCESI TEKOČIH VODA .....	10
2.4 CENTRALNA ČISTILNA NAPRAVA ŠENTJUR.....	12
2.5 VELIKI VODNI NEVRETENČARJI .....	14
2.6 VPLIV ABIOTSKIH DEJAVNIKOV NA ZDRUŽBO NEVRETENČARJEV .....	15
<b>2.6.1 Vodni tok.....</b>	<b>15</b>
<b>2.6.2 Substrat .....</b>	<b>16</b>
<b>2.6.3 Temperatura .....</b>	<b>18</b>
<b>2.6.4 Kisik.....</b>	<b>19</b>
<b>2.6.5 pH .....</b>	<b>21</b>
<b>2.6.6 Nitrati .....</b>	<b>23</b>
<b>2.6.7 Fosfor.....</b>	<b>24</b>
3 MATERIAL IN METODE .....	26
3.1 IZBIRA VZORČNIH MEST IN OBDOBJE RAZISKAV .....	26
3.2 OPIS VZORČNIH MEST .....	27
<b>3.2.1 Vzorčno mesto P1 .....</b>	<b>27</b>
<b>3.2.2 Vzorčno mesto P2 .....</b>	<b>28</b>
<b>3.2.3 Vzorčno mesto P3 .....</b>	<b>29</b>
3.3 MERITVE HIDROMORFOLOŠKIH PARAMETROV .....	31
<b>3.3.1 Globina .....</b>	<b>31</b>
<b>3.3.2 Hitrost vodnega toka.....</b>	<b>31</b>
<b>3.3.3 Substrat .....</b>	<b>31</b>
3.4 MERITVE FIZIKALNIH IN KEMIJSKIH SPREMENLJIVK .....	33
<b>3.4.1 Temperatura in kisikove razmere .....</b>	<b>33</b>
<b>3.4.2 Elektroprevodnost.....</b>	<b>33</b>
<b>3.4.3 pH .....</b>	<b>33</b>
<b>3.4.4 Skupne suspendirane snovi .....</b>	<b>33</b>
<b>3.4.5 Koncentracija nitratnih ionov.....</b>	<b>34</b>
<b>3.4.6 Koncentracija ortofosfatnih ionov .....</b>	<b>34</b>
3.5 VZORČENJE IN DOLOČANJE MAKROINVERTEBRATOV.....	35
3.6 BIOLOŠKE IN STATISTIČNE ANALIZE .....	36
<b>3.6.1 Deleži osebkov posameznih višjih taksonomskih skupin.....</b>	<b>36</b>
<b>3.6.2 Deleži prehranskih skupin.....</b>	<b>36</b>

3.6.3	Shannon- Wienerjev diverzitetni indeks.....	37
3.6.4	Saprobní indeks.....	38
3.6.5	Klastrska analiza združbe makroinvertebratov .....	39
3.6.6	Kanonična korespondenčna analiza (CCA).....	40
4	REZULTATI.....	42
4.1	HIDROMORFOLOŠKI PARAMETRI .....	42
4.1.1	Vodni tok.....	42
4.1.2	Anorganski in organski substrat.....	42
4.2	FIZIKALNE IN KEMIJSKE SREMENLJIVKE.....	44
4.2.1	Temperatura vode .....	44
4.2.2	Koncentracija raztopljenega kisika in nasičenost vode s kisikom.....	45
4.2.3	Elektroprevodnost.....	47
4.2.4	pH .....	48
4.2.5	Skupne suspendirane snovi .....	49
4.2.6	Koncentracija nitratnih ionov.....	50
4.2.7	Koncentracija ortofosfatnih ionov.....	51
4.3	BIOLOŠKE IN STATISTIČNE ANALIZE .....	52
4.3.1	Analiza sestave združbe makroinvertebratov .....	52
4.3.2	Delež osebkov posameznih višjih taksonomskih skupin.....	53
4.3.3	Sestava prehranskih skupin makroinvertebratov.....	58
4.3.4	Shannon-Wienerjev diverzitetni indeks.....	60
4.3.5	Saprobní indeks.....	61
4.3.6	Bray – Curtisov indeks .....	62
4.3.7	Sørensenov indeks podobnosti .....	63
4.3.8	Kanonična korespondenčna analiza (CCA).....	64
5	RAZPRAVA IN SKLEPI .....	65
5.1	RAZPRAVA .....	65
5.2	SKLEPI .....	80
6	POVZETEK .....	82
7	VIRI .....	85

**ZAHVALA**

**PRILOGE**

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Razvrstitev anorganskega substrata po velikosti delcev (po AQEM 2002).....	32
Preglednica 2: Razdelitev organskih substratov (po AQEM 2002) .....	32
Preglednica 3: Kakovost vodnega okolja v odvisnosti od vrednosti Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa (po Wilhm&Dorris, 1966, v: Washington, 1984) .....	37
Preglednica 4: Vrednosti saprobnega indeksa in pripadajoči kakovostni razredi (po Sladečku, 1973) .....	38
Preglednica 5: Hitrost vodnega toka na vzorčnih mestih 25. 8. 2009 .....	42
Preglednica 6: Deleži organskega substrata na treh vzorčnih mestih na reki Vogljajni ob treh različnih datumih vzorčenja .....	43
Preglednica 7: Spremenljivke okolja .....	64
Preglednica 8: Izbrane spremenljivke okolja, njihova statistična značilnost (P), pojasnjena varianca matrike taksonov z izbranimi spremenljivkami okolja ter kumulativna varianca.....	64

## KAZALO SLIK

Slika 1: Diagram vpliva organskega onesnažila na fizično, kemijsko sestavo vode in porazdelitev rastlinskih ter živalskih vrst odvisno od oddaljenosti izpusta onesnažila (po Hynes, 1960) .....	7
Slika 2: Vzorčno mesto P1 .....	27
Slika 3: Ortofoto posnetek z označeno lokacijo vzorčnega mesta P1 (Vir: <a href="http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso">http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso</a> ) .....	28
Slika 4: Vzorčno mesto P2 .....	29
Slika 5: Ortofoto posnetek z označeno lokacijo vzorčnega mesta P2 (Vir: <a href="http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso">http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso</a> ) .....	29
Slika 6: Vzorčno mesto P3 .....	30
Slika 7: Ortofoto posnetek z označenim vzorčnim mestom P3 (Vir: <a href="http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso">http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso</a> ) .....	30
Slika 8: Deleži anorganskega substrata na treh vzorčnih mestih na reki Vogljajni ob treh različnih datumih vzorčenja .....	42
Slika 9: Temperatura vode na treh vzorčnih mestih na reki Vogljajni ob treh različnih datumih vzorčenja .....	44
Slika 10: Koncentracija raztopljenega kisika na treh vzorčnih mestih na reki Vogljajni ob treh različnih datumih vzorčenja .....	45
Slika 11: Nasičenost vode s kisikom na treh vzorčnih mestih na reki Vogljajni ob treh različnih datumih vzorčenja .....	46
Slika 12: Elektroprevodnost na treh vzorčnih mestih na reki Vogljajni ob treh različnih datumih vzorčenja .....	47
Slika 13: Vrednosti pH na treh vzorčnih mestih na reki Vogljajni ob treh različnih datumih vzorčenja .....	48
Slika 14: Količina skupnih suspendiranih snovi na treh vzorčnih mestih na reki Vogljajni ob treh različnih datumih vzorčenja .....	49
Slika 15: Vsebnost nitratnih ionov na treh vzorčnih mestih na reki Vogljajni ob treh različnih datumih vzorčenja .....	50
Slika 16: Vsebnost ortofosfatnih ionov na treh vzorčnih mestih na reki Vogljajni ob treh različnih datumih vzorčenja .....	51
Slika 17: Število osebkov na treh vzorčnih mestih na reki Vogljajni ob treh različnih datumih vzorčenja .....	52
Slika 18: Število taksonov na treh vzorčnih mestih na reki Vogljajni ob treh različnih datumih vzorčenja .....	53
Slika 19: Deleži osebkov višjih taksonomskih skupin na treh vzorčnih mestih na reki Vogljajni ob treh različnih datumih vzorčenja .....	54
Slika 20: Deleži prehranskih skupin na treh vzorčnih mestih na reki Vogljajni ob treh različnih datumih vzorčenja .....	58
Slika 21: Vrednosti Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa na treh vzorčnih mestih na reki Vogljajni ob treh različnih datumih vzorčenja .....	60
Slika 22: Vrednosti saprobnega indeksa na treh vzorčnih mestih na reki Vogljajni ob treh različnih datumih vzorčenja .....	61
Slika 23: Dendrogram podobnosti devetih vzorcev nevretenčarjev, nabranih na treh vzorčnih mestih na reki Vogljajni ob treh različnih datumih vzorčenja. Uporabili smo Bray – Curtisov indeks podobnosti.....	62
Slika 24: Dendrogram različnosti devetih vzorcev nevretenčarjev, nabranih na treh vzorčnih mestih na reki Vogljajni ob treh različnih datumih vzorčenja. Uporabili smo Sørensenov indeks .....	63



## KAZALO PRILOG

Priloga A: Seznam in številčnost prisotnih taksonov velikih vodnih nevretenčarjev nabranih na treh vzorčnih mestih (P1, P2, P3) v reki Vogljajni

Priloga B: Izmerjene vrednosti fizikalnih in kemijskih spremenljivk na vzorčnih mestih (P1, P2, P3) od avgusta 2009 do avgusta 2010

Priloga C: Zemljevid vzorčnih mest (P1, P2, P3) in centralne čistilne naprave (CČN)  
(Vir: [http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas\\_Okolja\\_AXL@Arso](http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso))

## 1 UVOD

Kakovost okolja je zunanji videz posledic nebioloških in bioloških dejavnikov, ki jih povezujejo prehranjevalne verige. V njih so proizvajalci, potrošniki in razgrajevalci, ki so nosilci kroženja snovi in energije med življenjskimi združbami ter med njimi in okoljem. V te odnose se človeška družba vključuje na različnih ravneh, lahko okolje uživa in ohranja, lahko ga uživa in uničuje (Rejic, 1988).

Današnji čas ima nezavidljiv rekord, onesnaženje je doseglo vznemirljiv rekord, ki je posledica dveh dogajanj. Po eni strani naraščata osebna in industrijska poraba vode, ki zmanjšujeta vodne zaloge, po drugi pa onesnaženje manjša uporabnost zalog, kar je tudi zmanjšanje količine uporabne vode. Človeška družba se razvija, in s tem zahteva nove vodne vire, ki manjšajo zaloge in hkrati večajo količino odpadnih voda ter onesnaževanje vodotokov (Rejic, 1988).

Organska onesnažila so sestavljena iz proteinov, ogljikovih hidratov, maščob in beljakovin. Glavni vir organskega onesnaževanja so neprečiščene komunalne odpadne vode, kot so odplake iz hiš, kmetij, industrij, cest itd. Dandanes pa odpadne vode ne vsebujejo le organskih komponent, ampak so kompleksnejše (Toman, 1995).

Skupina vodnih organizmov, s katerimi lahko ocenimo kakovost vodnega ekosistema, so vodni nevretenčarji. Ti ustrezajo določenim kriterijem s katerimi lažje, hitreje in dovolj kakovostno ocenimo stanje vodotoka. Giller in Malmqvist (1998) menita, da je naše znanje o pomembnosti in diverziteti vodnih nevretenčarjev pomanjkljivo. Nekateri procesi, ki so odvisni od vrstne pestrosti vodnih organizmov so razgradnja listja in drugih organskih snovi, preskrbljenost vode s kisikom, paša organizmov, predacija in nadzor škodljivcev. Ugotavljata, da samo z dobrim poznavanjem vodnih organizmov in njihovih interakcij lahko izvajamo učinkovite ohranitvene ukrepe. Žal je časa malo, stopnja odmiranja določenih ogroženih vrst je hitra in kar najhitreje bi morali začeti z učinkovitimi ukrepi, predvsem na najbolj ogroženih potokih in rekah.

Ukrep, ki je zmanjšal onesnaževanje vodotoka Vogljajna s komunalnimi odpadnimi vodami je bil izgradnja centralne čistilne naprave Šentjur leta 2010. Gre za čistilno napravo narejeno za biološko čiščenje s suspendirano biomaso v dveh sekvenčnih bazenih z aerobno stabilizacijo blata in strojnim zgoščanjem presežnega blata v centrifugi.

Namen naloge je bil ugotoviti spremembe v vrstni pestrosti in sestavi združbe makroinvertebratov pred in po izgradnji komunalne čistilne naprave Šentjur. Predvidevali smo, da bo čistilna naprava Šentjur dolgoročno zmanjšala vnos organskih snovi v reko in posledično vplivala na strukturo združbe.

Da bi preverili vpliv čistilne naprave na reko Vogljajno smo na njej določili tri vzorčna mesta. Dve vzorčenji smo naredili pred začetkom delovanja čistilne naprave leta 2009, enega pa leta 2010, ko je čistilna naprava že delovala približno 4 mesece. Na vzorčnih mestih smo ocenili hidromorfološki značaj reke, opravili kemijske in fizikalne analize ter s pomočjo vzorčenih makroinvertebratov analizirali združbo. Zanimale so nas spremembe v taksonomski sestavi in številčnosti vodnih nevretenčarjev, spremembe v diverziteti in prehranskih skupinah ter tudi podobnost vzorčnih mest na podlagi makroinvertebratske združbe in vpliv posameznih dejavnikov nanje.

## 2 PREGLED OBJAV

### 2.1 OPIS VOGLAJNE IN NJENEGA POREČJA

Voglajna je 35 km dolga reka Voglajnskega in Sotelskega gričevja. Nastane z združitvijo Drobinskega potoka in Ločnice v vzhodnem delu Slivniškega jezera. Jezero je umetnega nastanka, ki je nastalo za pregrado Tratna leta 1976. Pregrada je bila zgrajena za potrebe tehnološke vode Železarne Štore in kot zadrževalnik poplavnega vala. Vizija je tudi bila, da naj bi se na akumulaciji razvilo ribištvo ter rekreativni turizem. Slednji se zaradi problemov lastništva ni razvil. Leta 1991 je bil vzhodni del Slivniškega jezera razglašen za ihtiološki in ornitološki rezervat v obsegu 40 ha od 84 ha celotnega območja.

Porečje Voglajne zajema 412 km<sup>2</sup>. Izliva se iz Slivniškega jezera, teče skozi Gorico pri Slivnici, Voglajno, Rifnik, Šentjur, Štore, vse do izlita v Savinjo v Zagradu, kot njen levi pritok. Do Črnoalice ima reka bolj ali manj ohranjeno strugo z dovolj obvodne vegetacije. V zaledju se razprostirajo pretežno kmetijska območja s kmetijami, gozd in individualna stanovanjska pozidava. Pri Voglajni se vanju izlijeta prva dva pritoka, to sta Ločica in Jezerščica. Od merilnega mesta Črnoalice dalje, preide struga reke v bolj urbani predel. Naselja, industrijska in obrtna dejavnost (ne dolgo nazaj brez predhodnega čiščenja odpadne vode), intenziviranje kmetijske pridelave in predelave je povzročilo poslabšanje srednjega in spodnjega toka reke. Voglajna tako spada v tretji, ponekod tudi v četrti kakovostni razred (Štraus, 2006). Vzhodno od Šentjurja se iz desne strani v reko izliva Slomščica, ki izvira pod Dolgo Goro. Pri obrtni coni dobi še dva pritoka, Pešnico in Kozarico. Vsi pritoki imajo, zaradi strmin v zgornjem toku, hudourniški značaj. Izlivi zavirajo tok glavne struge Voglajne, ki zaradi počasnega toka teče v velikih meandrih po rahlo nagnjeni ravnici. Kar povzroča težave. V času obilnih padavin Voglajna poplavlja tudi do 500 m na široko. Stanje se je delno izboljšalo, zaradi regulacije večine pritokov in utrditve bregov, kjer se v reko izlivata potoka Pešnica in Kozarica. Prestop bregov reke Voglajne je velikokrat tudi posledica izpusta vode iz Slivniškega jezera. Naravna struga reke Voglajne je delno ohranjena do Štor, od tam dalje pa vse do izliva v reko Savinjo regulirana. Po podatkih iz leta 2006 (Štraus, 2006) je več kot 50 km povodja Voglajne regulirana brez funkcionalnih pragov, jezov in drugih ribiških objektov.

Merilno mesto za merjenje pretoka, vodostaja in temperature reke Vogljajne je v Črnllici. Po podatkih iz Hidrološkega letopisa Slovenije za leto 2007, je srednji pretok znašal 0,65 m<sup>3</sup>/s, vodostaj pa 145 cm. Leta 2010 (19. 9. 2010) je bil pretok reke zaradi obilnih padavin izredno povišan in je znašal 48,7 m<sup>3</sup>/s, vodostaj pa 226 cm. Poplavna voda se razlije po obrečni ravnici od Šentjurja do Štor ter poplavi območje veliko 40 ha. Z namenom zmanjšanja poplavnega območja je določena izvedba suhega zadrževalnika Črnllica.

Vodotok Vogljajna ima dežno- snežni rečni režim. Za ta režim je značilen primarni višek, ki nastopi aprila, lahko tudi marca ali maja. Razlog za to je velika količina padavin v tem obdobju ter taljenje snega, ki pa je drugotnega pomena. Sekundarni višek je meseca novembra, prav tako zaradi obilice padavin. Primarni nižek nastopi poleti v mesecu avgustu ali redkeje v septembru, zaradi pomanjkanja padavin in velike evapotranspiracije. Sekundarni nižek je pozimi, ampak ne traja dolgo (Kolbezen, 1998). Povprečna letna temperatura znaša 10,4 °C, povprečna januarska 0 °C, julijska pa 20 °C. Povprečna letna količina padavin, izmerjena na padavinski postaji Šentjur, je 1134 mm (Belec in sod., 1998).

Podolje ob Vogljajni zapolnjujejo kvartarne naplavine na katerih so se izoblikovala obrečna, oglejena in psevdoglejena tla. Tekoče vode preoblikujejo površje z erozijo, denudacijo in akumulacijo. Vogljajna je s prodnatimi nanosi marsikje izoblikovala rečne terase, ki so zaradi različne starosti in debeline tal različno rodovitne. Prispevno območje vodotoka, višje ležeče gričevnate pokrajine, sestavljajo neprepustne terciarne usedline oligocenske in miocenske starosti na katerih so nastala rjava tla.

Vse kemijske analize na reki Vogljajni so bile narejene v spodnjem toku v mestu Celje. Na podlagi Ocene ekološkega in kemijskega stanja rek v Sloveniji v letih 2007 in 2008 je kemijsko stanje v obeh letih dobro. Očitno se je stanje izboljšalo, saj prejšnje raziskave (Monitoring....., 2006) opredeljujejo stanje Vogljajne kot slabo, predvsem zaradi velike vsebnosti cinka, bakra in kadmija. Glede na saprobiološke analize spada Vogljajna v 3. kakovostni razred, v hidrotehničnem smislu pa v 2. kategorijo, kar pomeni sonaravno urejen vodotok.

Vogljajna je s svojimi značilnimi meandri, obrežno vegetacijo in mokrotnimi travniki opredeljena kot območje Nature 2000, ki sega vse od Slivniškega jezera, pa do izliva v Savinjo, in kot ekološko pomembno območje.

## 2.2 ONESNAŽEVANJE TEKOČIH VODA

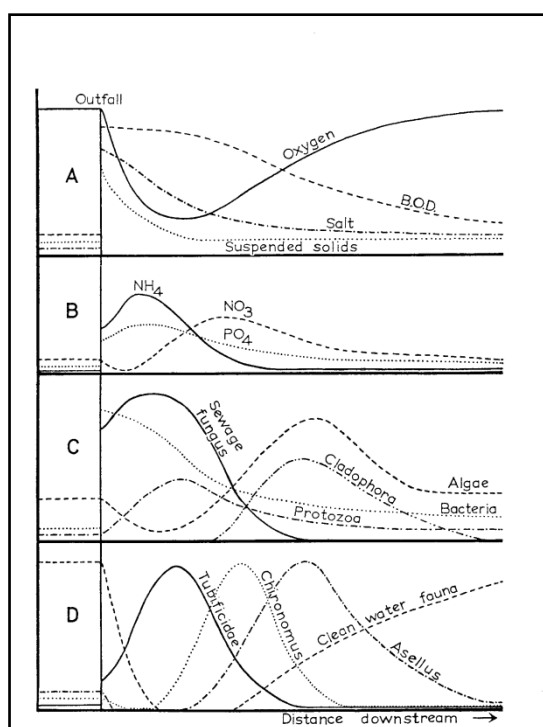
Moriarty (1990) je polutanta (onesnažilo) definiral kot snov, ki se pojavi v okolju zaradi človekovega vpliva in ima škodljiv vpliv na okolje. Giller in Malmqvist (1998) navajata, da kakršnakoli sprememba v kvaliteti tekoče vode pomeni onesnaževanje. Naravni dogodki, kot so orkani, izbruhi vulkanov, hudourniški nalivi in poplave, vodijo v lokalno poslabšanje kakovosti vode. Dolgoročni, obširnejši in resnejši so problemi kakovosti vode, zaradi nepremišljenega ravnanja človeka (Giller in Malmqvist, 1998). Pogosti so vnosi različnih oblik težkih kovin, anorganskih reducentov in organskih spojin, ki vstopijo v okolje in slej ko prej tudi v vodotoke. Veliko teh spojin je neaktivnih, imajo dolge zadrževalne čase, njihov vpliv je velikokrat nepoznan. Kljub razpršenosti in redčenju v vodnih telesih, je koncentracija kovinskih in organskih spojin velika, toksičnost pa lahko narašča eksponentno, sploh v primeru, ko je onesnaževalo radioaktivno ali rahlo kiselkasto (Wetzel, 2001). Z našim ravnanjem škodujemo vsem organizmom, ogrožamo svoje zdravje in slabšamo kakovost vode za kmetijstvo, industrijo in domačo rabo (Chapman, 1992).

Onesnaževanje se deli na dve kategoriji; v prvi so onesnaževalci, ki vplivajo na fizično okolje v katerem organizmi živijo, to so detergenti, hranila, komunalne odplake in hlevski gnoj, v drugo kategorijo spadajo substance, ki so direktno toksični za organizme, kot so kisline, kovine, olja, pesticidi, organski toksični odpadki ( Giller in Malmqvist, 1998).

Wetzel (2001) je določil štiri največje krivce onesnaženja vodotokov, ki so se pojavili v zadnjih letih in se nanašajo na kategorično delitev Gillerja in Malmqvista (1998).

1. Povišane koncentracije fosfata in nitrata, zaradi organskih odplak človeških populacij, industrije in kmetijstva, povečajo primarno produkcijo tekočih voda, predvsem nižinskih potokov. Proces eutrofikacije poveča stopnjo razgradnje, spremenijo se kemijski parametri, ki izredno zmanjšajo ali omejijo primeren habitat za številne rastline in živali (Wetzel, 2001). Manj tolerantne živali bodo nadomestile tolerantnejše. Eutrofikacija lahko povzroči probleme pri črpanju vode, saj lahko prekomerna rast alg poškoduje črpalke za prečrpavanje vode. Visoke koncentracije nitratov lahko resno ogrozijo zdravstveno stanje predvsem mlajših oseb, toksini cianobakterij pa so že v preteklosti povzročili resna

obolenja ljudi ali smrt (Giller in Malmqvist, 1998). Vnašanje odpadne in industrijske vode je kontinuirano, ki vodi v izoblikovanje določenih fizičnih pogojev in biološke združbe na mestih izpustov. Diagram Hynesa (1960) prikazuje spremembo v fizični, kemijski sestavi vode ter o porazdelitvi rastlinskih in živalskih vrst odvisno od oddaljenosti izpusta onesnažila. Največja sprememba je v količini kisika, ki močno upade pri mestu vtoka odpadne vode v recipient. Čas porasta v koncentraciji kisika je odvisen od temperature, biološke potrebe po kisiku, redčenja, celotne količine odpadnega materiala v vodotoku, turbulence, prejšnje koncentracije kisika v vodi ter od števila in tipov mikrobov. Poteče tudi nitrifikacija amonijaka do nitrata. Longitudinalna zonacija mikrobov, alg in živali je razporejena tako, da so najbolj odporni organizmi na onesnaženje najbližje iztoku odpadnih voda (npr. Tubificidae, Cironomidae). Nato postopoma sledijo vrste, ki so občutljivejše na onesnaženje. Zveza med stopnjo onesnaženosti in združbo organizmov reke je bila preučevana v smeri razvoja bioloških indeksov, s katerimi ovrednotimo stanje vodotoka (Giller in Malmqvist, 1998).



**Slika 1: Diagram vpliva organskega onesnažila na fizično, kemijsko sestavo vode in porazdelitev rastlinskih ter živalskih vrst odvisno od oddaljenosti izpusta onesnažila (po Hynes, 1960)**



2. Vnos hidroksilnih ionov v vodotoke (Wetzel, 2001). Pri zgorevanju fosilnih goriv (elektrarne, motorji in industrijski procesi) pride do nastanka nezaželenih produktov. Ti se v atmosferi ob prisotnosti vodne pare spremenijo v kisline (žveplova, dušikova kislina) ter v obliki padavin padejo na površje zemlje. Kisel dež lahko doseže nizek pH v vrednosti približno 2,0. Zakisanost voda je odvisna od geoloških značilnosti struge (karbonatna ali silikatna), tal in vegetacije (Giller in Malmqvist, 1998). Preveč nizek pH vpliva na organizme, njihovo tolerantnost, in dostopnost oziroma topnost določenih kovin in drugih ionov, ki so lahko v spremenjeni obliki toksični. Tak je na primer aluminij, ki normalno ni pogost v topni, reaktivni obliki. Večina težkih kovin se lahko absorbira v organizem le, če so predhodno metilirane, in samo nekatere so v taki obliki tudi strupene. Snovi se v organizem bioakumulirajo, se ne izločijo, temveč se le kopičijo. Koncentracija toksične snovi, v osebkih na začetku prehranjevalne verige, ni velika. Z naraščanjem trofičnih nivojev se količina strupene snovi povečuje, najvišja koncentracija snovi je pri najvišjem in zadnjem prehranjevalnem členu. Strupeni onesnaževalec lahko doseže koncentracijo, ki je smrtna za populacijo ali pa povzroči spremembe na genetski, biokemijski, fiziološki ali vedenjski ravni. Toksične snovi različno vplivajo na tkiva posameznih organizmov, zato so lahko nekateri organizmi bioindikatorji (Giller in Malmqvist, 1998). Alge in mahovi so dobri indikatorji za zaznavanje obremenitve s kovinami (Melhaus in sod., 1978; Mauvet, 1985). Prav tako se za biomonitoring kovin uporabljajo postranice (Amyot in sod., 1996). Spremembe v združbi makroinvertebratov so posledica onesnaževanja s kovinami, saj se taksoni razlikujejo glede na občutljivost izpostavljenosti kovin. Herbivori in detritivori so bolj občutljivi na baker kot plenilci, enodnevnic (predvsem Hepatageniidae) in nekatere vrbnice naj bi bile občutljivejše kot mladoletnice in trzače (Kiffney in Clements, 1994). Giller in Malmqvista (1998) navajata, da naj bi prevelika koncentracija aluminijevega hidroksida vplivala na fizično draženje škrg rib in enodnevnic, kar posledično vodi v probleme respiracije.

Poleg vnosa težkih kovin in kislin se v vodotoku znajdejo tudi klorirani ogljikovodiki (DDT, PCB) in radioaktivne spojine. Večino naštetih snovi organizmi prevzamejo, v njih se pa nato akumulirajo (Wetzel, 2001).

3. Spiranje tal vodi v zamuljenost vodotoka, kar povzroči zmanjšanje volumna vodnega habitata in povečano kontaminacijo s pesticidi (Wetzel, 2001).

4. Vnos določenih sposobnejših, odpornejših in prilagodljivih vrst lahko spremeni združbo določenega ekosistema. Na primer vnos tujerodnih rastlinskih in živalskih vrst, ki neposredno uničijo plen ali posredno uničijo habitat potreben za številne prilagojene vrste.

### 2.3 SAMOČISTILNI PROCESI TEKOČIH VODA

Glede na dejstva, ki smo jih predstavili, se čudimo, kako lahko naši vodotoki vzdržujejo zadovoljivo kakovostno stanje. V vsakem vodotoku namreč potekajo samočistilni procesi. Te delimo na biološke in nebiološke.

Nebiološko čiščenje zajema odstranjevanje nerazgradljive snovi. V naravnih vodnih telesih je to nerazgradljiva kalnost, ki se pojavlja med povišanimi vodostaji. Njen izvor je lahko alohton in avtohton. Med prve spadajo deževnica in snežnica, ki izpirata kopno, in veter, ki prinaša prah iz ozračja. Nosilki avtohtonega pa sta biološko razapnenje in hitrost vodnega toka, ki odplavlja s površine usedlin delce ustreznih velikosti oziroma specifične teže. Z upadanjem vodostaja se zmanjšuje hitrost vodnega toka, delci iz plavja se postopoma usedajo, pri čemer je potrebna za enako zrnatost manjša hitrost, kakor je bila potrebna za njihov prehod v plavje. S plavljenjem in usedanjem se delci pomikajo vzdolž toka, kemijsko se bistveno ne spreminjajo, zmanjšuje se pa njihova zrnatost.

Najpomembnejši nosilec kroženja snovi in seveda tudi energije v vodnem okolju je biološko samočiščenje. Izvajalci tega so vse populacije v celotni življenjski združbi, ki jih po dejavnosti razvrščamo v tri skupine. To so proizvajalci, potrošniki in razgrajevalci. Proizvajalci s pomočjo sončne energije proizvajajo iz pretežno anorganskih spojin nove razgradljive snovi, ki jih vgrajujejo v celice, tkiva, telesa, skratka v novo biomaso. Potrošniki se hranijo z vodnimi prebivalci, njihovimi ostanki in iztrebki. Med prebavo pretvarjajo visokomolekularne snovi v nižjemolekularne, vmesne proizvode vgrajujejo v lastne visokomolekularne snovi, ostanek je v izločkih in iztrebkih. Razgrajevalci se hranijo z ostanki, izločki in iztrebki. Ne razgradijo vsega do kraja, uporabne vmesne proizvode vgradijo v lastno biomaso, ostanek razgradijo naprej. Z vmesnimi proizvodi, posebno raztopljenimi, se hranijo proizvajalci in potrošniki, ostanek zapade razgradnji do anorganskih spojin, mnoge med njimi porabljajo proizvajalci, da jih s pomočjo sončeve energije povežejo v novo biomaso. Krog je tako sklenjen, imenujemo ga popolno biološko samočiščenje in se odvija v aerobnem okolju ob sodelovanju teh treh skupin (Rejic, 1988).

Ker je onesnaženje dandanes že preveliko, samočistilen proces ni popoln, zato se iz leta v leto povečuje število zgrajenih umetnih bioloških čistilnih sistemov oziroma komunalnih čistilnih naprav. Čiščenje odpadnih voda poteka na osnovi fizikalnih, kemijskih in

bioloških procesov. Najboljša ekološka rešitev za čiščenje biološko razgradljivih ali delno razgradljivih odpadnih voda so nedvomno biološke čistilne naprave, saj je biološko čiščenje najbolj podobno kroženju snovi in pretoku energije v vodnem okolju (Urbanič in Toman, 2003). Zgoraj omenjena centralna čistilna naprava Šentjur ima samo primarno in sekundarno stopnjo čiščenja kar pomeni, da ni prisotnih primarnih producentov, torej čiščenje ni popolnoma biološko.

Določene družbe na svetu so lahko kos onesnaževanju in zmanjševanju uničevanja tekočih voda z restavriranjem habitatov. V večini dežel populacija ljudi kontinuirano narašča. Dokler se ne bo stabilizirala, je nadaljnji nadzor nad degradacijo in izgubo sveže tekoče vode le delen ter na globalni ravni. Žalostno je, da človek trajnostno ne deluje in uničuje, za preživetje potrebno okolje in naravo. Nadzor in ponovna vzpostavitev boljšega stanja zahteva pravilno gospodarjenje s tekočimi vodami, predvsem dovolj zalog vode za namen kmetijstva, industrije in potreb vsakega prebivalca (Wetzel, 2001).

## 2.4 CENTRALNA ČISTILNA NAPRAVA ŠENTJUR

S večanjem števila prebivalcev in širitvijo poselitvenih območij se je povečala potreba po izgradnji mreže vodovodov. Tako je občina Šentjur v zadnjih enajstih letih zgradila mrežo vodovodov po naseljih in zaselkih, ki so precej razpršena. Največji problem do sedaj je bil neurejen način odvajanja in čiščenja komunalnih odpadnih voda, ki jih je potrebno pred izpustom v površinske vode prečistiti. S projektom »Celostno urejanje odvajanja in čiščenja odpadnih voda in varovanje vodnih virov na povodju Savinje- projekt Šentjur« so prebivalci občine Šentjur pridobili kanalizacijski sistem s čistilno napravo kapacitete 13.000 populacijskih enot (PE). Tri do štiri mesece pred prvim julijem 2010 se je centralna čistilna naprava začela polniti, 23. 7. 2010 pa so bile narejene prve analize.

Centralna čistilna naprava Šentjur se nahaja na levem bregu vodotoka Voglajne, zahodno od Šentjurja, v naselju Hruševce. Nekje do konca leta 2010 so bile komunalne odpadne vode speljane po obstoječih in novih kanalizacijskih vodov iz Klavnice Šentjur, delno iz mesta Šentjur ter nekaj posameznih hiš na centralno čistilno napravo. Takrat je bilo na čistilno napravo priključenih okoli 2500 PE, od tega je predvidoma doprinesla Klavnica Šentjur 1500 PE. V letu 2011 so dogradili predvidene trase prve faze, ki zajemajo del naselij Stopč, Gorice pri Slivnici, Ponikve in Vrbno. Trenutno, v letu 2012, je priključenih 6500 PE, od tega že omenjenih 1500 PE doprinese Klavnica Šentjur. V drugi fazi izvajanja projekta, ki bi naj bil dokončan leta 2012, bo zgrajenih skoraj 24 km kanalizacijskih vodov na čistilno napravo v Šentjurju in na že zgrajene čistilne naprave v Dramljah, Blagovni in na Planini. Tretja faza pa bo obsegala izgradnjo manjših čistilnih naprav pod 50 populacijskih enot.

Centralna čistilna naprava je narejena za biološko čiščenje s suspendirano biomaso v dveh sekvenčnih bazenih z aerobno stabilizacijo blata in strojnimi zgoščanjem presežnega blata v centrifugi.

Začetna stopnja čiščenja odpadnih voda zajema predvsem mehanske procese. Odpadna voda iz kanalizacijskega sistema doteka po dveh tlačnih cevovodih v kineto finih elektromotornih gabelj, kjer se ločijo večji organski delci od tekočine. Ti delci gredo v zabojnik na kolesih, ki se po potrebi prazni. Iz kinete finih elektromotornih gabelj se voda preliva v peskolov in lovilec maščob. Pesek se useda na dnu peskolova, od tu se občasno prečrpava po spiralnem transporterju peska, kjer se iz vode izloča pesek in transportira v

zabojnik za pesek. Na iztočnem delu peskolova je vgrajen preliv v kontaktni bazen. Za izločanje plavajočih snovi je v peskolovu vgrajeno puhalo, ki dovaja stisnjen zrak. Plavajoče snovi se odvajajo preko lamelne potopne stene v lovilec maščob. Od tu se občasno ročno postrgajo v jašek maščob. Odpadna voda doteka iz peskolova v kontaktni bazen, kjer se pričnejo biokemijski procesi razgradnje. Vanj se prav tako dovaja povratno blato iz SBR bazenov. Iz kontaktnega bazena se voda preliva izmenično v sekvenčna bazena, tako potekajo procesi prezračevanja (redukcija koncentracije ogljikovih spojin v odpadni vodi in de/nitrifikacija), bistrenja in odvajanja očiščene odpadne vode. Za potrebe prezračevanja sta na dnu bazena nameščena membranska prezračevala, s pomočjo katerih se uvaja zrak v odpadno vodo. Ciklus delovanja SBR reaktorja je štiri ure. V prvem reaktorju se ob določenem času začne ciklus s fazo polnjenja in mešanjem, ki se nadaljuje s prezračevanjem, to skupaj traja dve uri. Nato sledi faza usedanja, ki traja eno uro in faza odliva, ki prav traja eno uro. Očiščena odpadna voda odteka iz SBR reaktorjev preko kontrolnega jaška, ki je opremljen z napravami za kontinuirano merjenje pretoka, v recipient (Vogljajna). V vsakem SBR reaktorju je nameščena potopna črpalka, ki v fazi praznjenja poskrbi za odvajanje odvečnega blata v zalogovnik/zgoščevalnik blata. Tam se blato usede na dnu, izločena blatnenica pa se preliva nazaj v kontaktni bazen. Zgoščeno blato se dehidrira in odloži v zabojnik za odvoz blata (Pipuš, 2009). Ko je zabojnik poln, pooblaščen podjetje odpelje blato. Delno iz blata proizvedejo bioplino del pa ga zažgejo.

## 2.5 VELIKI VODNI NEVREtenČARJI

Združbo velikih vodnih nevretenčarjev po definiciji sestavljajo vodni nevretenčarji, ki pri vzorčenju ostanejo v mreži z odprtini 0,5 x 0,5 mm. Običajno so to organizmi večji od 1 mm ter vidni s prostim očesom (Urbanič in Toman, 2003). Taksonomsko so izredno pestra skupina.

Biološke raziskave voda temeljijo na spremembah v strukturi, gostoti in diverziteti preučevane združbe ter prav tako prisotnosti oziroma odsotnosti indikatorskih vrst. Ker bi bilo časovno zelo zamudno, da bi preučevali celotno skupino organizmov v vodnem ekosistemu, so bile izbrane specifične skupine organizmov. Te so praživali, bičkarji, alge, veliki vodni nevretenčarji ter ribe. V kar 2/3 uporabljenih modernih bioloških metodah se uporabljajo obravnavani veliki vodni nevretenčarji, predvsem zaradi njihovih številnih prednosti (Dall in sod., 1995).

Skupina vodnih nevretenčarjev je primerna za monitoring voda, ker se pojavljajo skoraj v vseh možnih vodnih tipih ter so pomembni tudi pri vzdrževanju ekološkega delovanja naravnih ekosistemov. Sodelujejo pri procesih razgradnje ter prav tako zagotavljajo hrano višjim taksonom (Rosemberg in sod., 1986). Njihove vloge v ekosistemu so zelo različne, lahko so detritivori, filtratorji, plenilci, drobilci in strgalci. Zastopani so v velikem številu vrst, ki so različno občutljive na onesnaževanje. Prav tako so vodni nevretenčarji relativno pogosti. Vzorecimo jih lahko po predpisanih standardnih metodah vzorčenja, ki pa so enostavne. Za določanje osebkov so na voljo določevalni ključi po katerih lahko osebke določamo do različnih nivojev, vsaj do nivoja družin, kar je lahko v določenih primerih nezadostno. Vodni makroinvertebrati so primerni za monitoring iz še enega razloga, in sicer imajo relativno dolgo življenjsko dobo (Urbanič in Toman, 2003).

Veliki vodni nevretenčarji odražajo ekološke razmere posameznega vzorčnega mesta, skupaj s fizikalnimi lastnostmi in niso le odraz organskega obremenjevanja, ampak tudi različnih stresorjev, ki so lahko posledica anorganskega onesnaževanja, toksičnosti, kislosti, morfoloških sprememb vodnih habitatov in zmanjšanje količine vode (Urbanič in Toman, 2003).

## 2.6 VPLIV ABIOTSKIH DEJAVNIKOV NA ZDRUŽBO NEVRETENČARJEV

Za vsako življenjsko združbo ali biocenozo je nujno potreben življenjski prostor ali biotop, v katerem so določene razmere pomembne za obstanek in vzdrževanje biocenoze. Tako je združba vodnih nevretenčarjev vezana na različne dejavnike v vodi, kot so vodni tok, podlaga, temperatura, količina raztopljenega kisika, pH,... Okoljski dejavniki ter vodni nevretenčarji tvorijo neločljivo celoto v vodnem okolju. Med seboj so v ekosistemu tesno povezani, kar daje videz izjemne kompleksnosti (Matoničkin in Pavletić, 1972).

### 2.6.1 Vodni tok

Vodni tok je najpomembnejši dejavnik v tekočih vodah odvisen od struge, globine in substrata. Običajno je največja hitrost vodnega pretoka v zgornjem toku rek, zmanjšuje se po toku navzdol. Posledica sprememb hitrosti vodnega toka od izvira proti izlivu je drugačen anorganski substrat na dnu rek. Tok je tudi omejujoč dejavnik za vse organizme v tekočih vodah. Omogoča bivanje le določenim velikim vodnim nevretenčarjem, ki so se na hitrost vodnega toka prilagodili. Posredno lahko tok vpliva na pretok hrane, kar pa določa prehranjevalne skupine nevretenčarjev v vodotoku (Matoničkin in Pavletić, 1972).

Hitrost vodnega toka se spreminja skozi leta, v različnih sezonah in dnevno v odvisnosti od hidrometeoroloških vplivov in narave prispevnega območja (Giller in Malmqvist, 1998). Tik nad substratom je hitrost vodnega toka nič, a logaritmično narašča. Nenadoma se zmanjša tik pod vodno površino, zaradi trenja plasti vode z atmosfero. V plitkih potokih se lahko hitrost vodnega toka povečuje skoraj do površja vode in ni opaznega upada v hitrosti pod površjem (Wetzel, 2001). Ne spreminja se pa samo vertikalno, temveč tudi lateralno. Najvišja hitrost vodnega toka je na sredini struge in se manjša proti bregovoma (Giller in Malmqvist, 1998). Povprečna hitrost vodnega toka je bila empirično določena in je v večini vodotokov enaka hitrosti na 6/10 globine (Urbanič in Toman, 2003).

Glede na opravljene teste, Matoničkin in Pavletić (1972) navajata, da se lahko nekateri organizmi v vodah zadržujejo pri hitrosti do 3,5 m/s. Optimalne hitrosti so okrog 0,5 m/s.



Vodni tok predstavlja vodnim organizmom, ki poseljujejo tekoče vode, največji izziv. Za nevretenčarje je najpomembnejše, da ga prevladujoči vodni tok ne zadane ob štrleče dele telesa (npr. glava) in ga odnese po toku navzdol. Da bi preprečili nenamenski drift, se je njihovo telo prilagodilo na vodne tokove (Giller in Malmqvist, 1998).

Telo vodnih organizmov, ki živijo v hitro tekočih vodotokih, je dorzoventralno sploščeno, na robovih rahlo razširjeno. Takšna oblika telesa zagotavlja bližnji stik s podlago, kar zmanjša odpor vodnemu toku. Bolj kot je žival sploščena, manjša je sila vodnega toka, ki deluje na njo. Volumen teles sploščenih vodnih nevretenčarjev ostane enak, saj se na račun manjšanja višine širi njihovo telo. S tem se povečuje površina, s katero se lahko pritisne ob substrat.

Prilagoditve na vodni tok so različne, najpogostejša je sploščenost telesa (*Ecdyonurus* sp.), posebna oblika hišice (*Ancylus fluviatilis*), oblika in teža hišic mladoletnic (*Silo* sp.), razni preobraženi deli telesa (preobražena čeljust v oprijemalko, ščetine, krempljci) in izločanje bisusne niti (*Simulium* sp.) (Matoničkin in Pavletić, 1972). Vodni tok vpliva tudi na vedenjski vzorec organizmov, kar vključuje morfološke posebnosti, gradnjo hišic, mrež, gibalne aktivnosti, drift, prostorska in respiratorna gibanja (Statzner in sod., 1988).

## 2.6.2 Substrat

Substrat sestavljajo anorganske in organske komponente. Anorganski material je navadno erodiran iz gornjega toka reke in se na poti proti spodnjemu toku, zaradi delovanja reke, oblikovno spreminja. Organski material pa ima večjo spremenljivost, saj lahko vsebuje vse od organskih delcev in listja do podrtega drevja in vodnih rastlin. Anorganski in organski substrat sta oba klasificirana glede na velikost delcev, le pri organskem na splošno velja, da so manjši delci hrana, večji pa substrat.

Splošno je substrat zelo pomemben pri biološkem vrednotenju stanja vodotokov, saj nudi prostor za počitek in reprodukcijo živalim, za ukoreninjanje rastlin in organizmom

zagotavlja zavetišče pred plenilci in vodnim tokom. Prav tako direktno zagotovi hrano v obliki organskih delcev (Giller in Malmqvist, 1998).

Vodni tok oblikuje substrat rek. V zgornjem toku rek, kjer je velika hitrost vodnega toka, sestavljajo anorganski substrat predvsem deli skal in večji kamni. Pri manjših hitrostih vodnega toka, se na dnu rek nahajajo manjši kamni in prod, v spodnjem toku, kjer je hitrost vodnega toka močno upočasnjena, pokriva dno pesek in mulj (Matoničkin in Pavletić, 1972).

Kljub temu, ugotavljata Giller in Malmqvist (1998), da je večina bentoških nevretenčarjev pri izboru substrata generalistična, večina tudi kaže preferenco do nekaterih kategorij substrata. Grobi substrat poseljujejo larve mladoletnic (predvsem družina Glossomatidae), veliko družin vrbnic, družini enodnevnice (Heptagenidae, Leptophlebiae), postrance (*Gammarus* sp.), polži in ploščati črvi. Prod poseljujejo vrbnice (predvsem Leuctridae, Cloroperlidae), larve hroščev (Elmidae) ter larve dvokrilcev (Chironomidae, Tipulidae). Peščen substrat poseljujejo mnogoščetinci, larve dvokrilcev, enodnevnice in kačjih pastirjev. Hynes (1970) navaja, da je *Ephemera* sp. omejena z velikostjo substrata, ki mora biti med 0,5 in 3 mm. Blatna tla se velikokrat pojavijo v okolju z veliko detrita, kjer primanjkuje kisika. Takšen substrat prenesejo nekatere larve enodnevnice (*Caenis* sp.) in vrbnic (*Leuctra nigra*) ter maloščetinci, trzače in larve nekaterih kačjih pastirjev.

Največja pestrost vodnih nevretenčarjev je tam, kjer je vsaj nekaj vodnih makrofitov. Pogosto združbo sestavljajo trzače, vrbnice (Nemouridae), enodnevnice iz rodu *Baetis* in *Ephemerella* ter hrošči. Če je v reki prisoten mah, se lahko vrstna pestrost poveča tudi za 15krat. Vodno rastlinje zagotavlja zatočišče pred plenilci in močnim tokom, mesta pritrjanja ter posredno se med lističi ujamejo majhni organski delci, ki zagotavljajo hrano (Giller in Malmqvist, 1998).

Torej, različni substrat ne vpliva le na združevanje različnih živali, temveč tudi na njihovo številčnost, diverziteto in biomaso (Vallania in Corigliano, 2007).

### 2.6.3 Temperatura

Temperaturne spremembe v vodnih telesih so odraz sezonskih sprememb, za nekatera vodna telesa pa so značilne tudi dnevno-nočne spremembe. Na temperaturo v vodi vplivajo še površinski odtoki in dotoki ter talna voda. V vseh vodnih okoljih na spremembo temperature najpomembneje vpliva neposredna absorpcija sončnega sevanja (Urbanič in Toman, 2003). Senčenje je dejavnik, ki ga nemalokrat izpustimo, ampak pomembno vpliva na temperaturo vode. Zmanjšuje visoke poletne temperature in krajša čas trajanja najvišji dnevni temperatur (Giller in Malmqvist, 1998). Manj pomembna vira sta še oddajanje toplote iz usedlin in zraka (Urbanič in Toman, 2003).

Temperatura vode vpliva na fizikalne, kemijske in biotske procese v tekočih vodah. Ob zviševanju temperature se kemijske reakcije in izhlapevanje pospešijo. Zmanjša se topnost nekaterih plinov v vodi, kot so  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$  in  $CH_4$ . Vpliv temperature na makroinvertebrate je posreden, saj določa topnost kisika v vodi (Giller in Malmqvist, 1998).

Sezonske spremembe vplivajo na nihanje temperature vode v reki. V pomladnih in poletnih mesecih lahko sledimo povečanju temperature od izvira proti izlivu, pozimi pa obratno. Spremembe temperature so najmanjše na izviri, povečujejo se proti spodnjemu toku (Matoničkin in Pavletić, 1972). Določili so, da temperature površinskih voda v Sloveniji nihajo med  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  in  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Urbanič in Toman, 2003). Posebna značilnost vode je visoka specifična toplota, kar pomeni da se počasi segreva in ohlaja. Zaradi te značilnosti so organizmi vodnih ekosistemov v boljšem položaju kot na kopnem. Nenadnim spremembam (padec okoljske temperature) v pozni jeseni ali zimi, se lahko vodni organizmi postopno prilagajajo (Matoničkin in Pavletić, 1972).

Temperatura je izrednega pomena za življenje velikih vodnih nevretenčarjev. Višja temperatura vode pospešuje življenjske procese; živali hitreje dihajo, hitreje prebavljajo hrano, bolj so občutljive, živahnejše so, hitreje se razvijajo jajčeca, hitreje se preobražajo in še kaj bi lahko našteali (Matoničkin in Pavletić, 1972). V toplejši vodi zvišana stopnja respiracije vodi v povečano privzemanje kisika in pospešeno dekompozicijo organskih

snovi (Urbanič in Toman, 2003). Število rodov in družin vodnih žuželk oziroma njihovih larv raste sorazmerno z maksimalno temperaturo, a upada z nadmorsko višino in zemljepisno širino (Jacobsen in sod., 1997).

Ker temperatura močno vpliva na mnoge pomembne dejavnike in procese v vodi, je zelo pomemben parameter pri določanju kakovosti voda (Urbanič in Toman, 2003).

#### **2.6.4 Kisik**

Prosti kisik v vodi je bistven za vse aerobne organizme. Kisik z difuzijo vstopa vodo, kjer ga je 30 krat manj kot v zraku. Njegova koncentracija je odvisna od fizikalnih, kemijskih in bioloških procesov v vodi. Spreminja se v odvisnosti od temperature in atmosferskega tlaka, slanosti, turbulence, fotosintezne aktivnosti primarnih producentov in respiratorne aktivnosti življenjske združbe. Z višanjem temperature in slanosti vode se topnost kisika manjša, medtem ko z večanjem turbulence narašča (Urbanič in Toman, 2003). Mirna gladina raztapljanje zavira, maščobe na vodni gladini pa ga preprečujejo (Rejic, 1988).

Zaradi spreminjanja vodotoka po toku navzdol, se tudi sestava plinov od izvira proti izlivu razlikuje. Na izvira je koncentracija CO<sub>2</sub> največja (zaradi bakterijske respiracije), kisika je najmanj. Po strugi navzdol se količina CO<sub>2</sub> zmanjšuje, količina O<sub>2</sub> se pa zvišuje zaradi asimilacije, hitrosti vodnega toka in turbulence (Matoničkin in Pavletić, 1972).

Poleg vseh fizikalnih in kemijskih dejavnikov, ki vplivajo na raztapljanje kisika v vodi, ima velik vpliv tudi primarna produkcija zelenih rastlin in razgradni procesi saprofitskih bakterij. Fotosintezna aktivnost povečuje koncentracijo kisika, medtem ko jo respiracijska aktivnost organizmov zmanjšuje (Urbanič in Toman, 2003). Prevladovanje procesa fotosinteze, oziroma dihanja v vodi ugotovimo tako, da podnevi izmerimo nasičenost vode s kisikom. Vrednosti nad 100 % nakazujejo na višjo fotosintezno aktivnost od respiracijske. Kot navaja Brezovik (1994), se lahko poraba po kisiku na osvetljenih delih reke poveča, zaradi fotokemijskih reakcij.

V neobremenjenih celinskih vodah koncentracija kisika niha med 15 mg/L pri 0 °C in 8 mg/L pri 25 °C. Na mestih izpustov odpadnih voda, bogatih z organskimi snovmi, so zaradi povečane mikrobne aktivnosti koncentracije kisika nižje (<5 mg/L) v primerjavi z neobremenjenimi sistemi, razlike pa so tudi v nihanjih koncentracij preko dneva (Urbanič in Toman, 2003). Nevarno nizke koncentracije kisika se lahko pojavijo v močno organsko onesnaženih vodotokih v kombinaciji s sušo (torej nizek pretok), visoko temperaturo in goste ter visoke obvodne vegetacije (Giller in Malmqvist, 1998).

Spremembe v koncentraciji kisika se pojavljajo časovno in prostorsko v povezavi s količino organske snovi. V rekah s počasnim tokom je zadrževalni čas vode daljši, kar omogoča večje spremembe v koncentraciji kisika. V vodi raztopljen kisik se lahko porabi ali pri kemijskih procesih razgradnje organskih snovi, ki so naravnega ali antropogenega nastanka, ali pa pri mikrobiološki aerobni razgradnji teh organskih snovi. V času odpadanja listja v vodo, se poveča kemijska in mikrobiološka potreba po raztopljenem kisiku. Enako se zgodi pri obilnih padavinah, ko v vodo iz prispevnega območja priteče večja količina raztopljenih organskih snovi (Wetzel, 2001). Koncentracija kisika pade čez noč, saj poteka le proces respiracije, zviša se količina ogljikovega dioksida (Giller in Malmqvist, 1998).

Kisik lahko v veliki meri vpliva na topnost anorganskih hranil. Spremembe v dostopnosti hranil povzročajo nenadno rast organizmov, ki so sposobni izkoristiti hranila. Odziv populacije je lahko začasen, prehoden. Če pa so spremembe v dostopnosti hranil reguliranih s strani kisika trajne, se lahko produktivnost celotnega vodotoka drastično spremeni (Wetzel, 2001).

Znano je, da je potreba po kisiku pri makroinvertebratih, ki živijo v rekah, večja kot pri tistih, ki živijo v stoječi vodi pri enaki temperaturi. Respiracija je temperaturno odvisna. Giller in Malmqvist (1998) navajata, da se nivo potrebe po kisiku lahko dvigne za več kot 10 %, če se dvigne temperatura za 1 °C. Zmanjšanje topnosti kisika pri višjih temperaturah in hkrati večja potreba vodnih nevretenčarjev po kisiku, lahko vodi v fiziološki stres organizmov.

Spremembe v koncentraciji kisika, so prisilile vodne nevretenčarje, da so se prilagodili. Nekateri ne preživijo velikih nihanj v koncentraciji kisika, medtem ko druge lahko preživijo pri nizkih koncentracijah kisika ali anoksiji. Slednje je značilno predvsem za živali (trzače, maloščetinci), ki živijo v organsko obremenjenih vodotokih (Matoničkin in Pavletić, 1972). Drugi organizmi bolje uspevajo v hladnejših potokih, kar je lahko posledica vpliva temperature na topnost kisika ali pa sam vpliv temperature na njih (Giller in Malmqvist, 1998). Takšne so vrbnice, ki se zaradi visokih zahtev po kisiku v vodah s temperaturo nad 25 °C večinoma ne pojavljajo (Hynes, 1970).

Urbanič in Toman (2003) sta mnenja, da so meritve koncentracije raztopljenega kisika uporabne za ugotavljanje stopnje organske onesnaženosti vodnih teles, razpada organskih snovi in za določanje samočistilne sposobnosti vodnih teles.

### **2.6.5 pH**

pH je definiran kot desetiški logaritem koncentracije  $H^+$  ionov. Vpliva na mnoge biotske in kemijske procese v vodi. V neonesnaženih vodah je pretežno odvisen od ravnotežja med  $CO_2$ ,  $HCO_3^-$  in  $CO_3^{2-}$  ter tudi drugih naravnih spojin, kot so huminske in fulvo kisline. V največji meri je dnevno nihanje rezultat fotosintetske aktivnosti, respiracije primarnih producentov (Urbanič in Toman, 2003) in toka vode po površinskih plasteh pedosfere, kjer potekajo intenzivni biokemijski procesi, pri katerih nastajajo velike količine ogljikovega dioksida (Matoničkin in Pavletić, 1972). Ponoči, ko ne poteka fotosinteza, količina  $CO_2$  narašča. Spremembe v pH so lahko tudi odraz prisotnosti efluentov, še zlasti če je z meritvami ugotovljena povišana elektroprevodnost. Vrednosti pH za tekoče vode se gibljejo med 6,0 in 8,5. Višje vrednosti so pogoste v evtrofnih sistemih (Urbanič in Toman, 2003). Nižje vrednosti pH so lahko posledica večjih količin raztopljenih huminskih spojin, ki lahko znižajo pH od 0,5 do 2,5 vrednosti (Wetzel, 2001).

Tekoče vode imajo puferski značaj, njihov pH regulira karbonatno ravnotežje. Matoničkin in Pavletić (1972) navajata, da se pH vrednost raztopine signifikantno ne spreminja, saj procesi v vodi stalno uravnavajo pravilno razmerje med količino ogljikove kisline in

karbonata. Obe spojini nastaneta iz ogljikovega dioksida ( $\text{CO}_2$ ), ki vstopi v tekoče vode s padavinami, ali pa ga prejmejo skozi površinski del pedosfere, kjer se odvijajo intenzivni biokemijski procesi pri katerih nastajajo znatne količine  $\text{CO}_2$ . Ob stiku z vodo nastane ogljikova kislina, ki raztaplja apnenec. Velik del kisline se veže s kalcijevim karbonatom ( $\text{CaCO}_3$ ), tvori se kalcijev bikarbonat ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ). Preostali, nevezani del običajno ostane v obliki plina  $\text{CO}_2$ , ampak v odmerjenem kemijskem ravnovesju s količino kalcijevega bikarbonata. To razmerje med prostim  $\text{CO}_2$  in bikarbonatom narekuje kemijski značaj tekočih voda. Večje količine bikarbonata zahtevajo tudi večje količine  $\text{CO}_2$ . Če je razlika med koncentracijo  $\text{CO}_2$  v vodi in atmosferi velika, potem plin hitreje difundira v smeri manjšega pritiska, kar je običajno v atmosfero, kjer je manjša koncentracija plina (0,03 %  $\text{CO}_2$  v ozračju). Če je difundiranje veliko, se poruši ravnovesje med  $\text{CO}_2$  in bikarbonatom. Količina ogljikovega dioksida se zmanjša, kar vodi do cepitve kalcijevega bikarbonata ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \leftrightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ ). Kalcijev karbonat se v vodi ne topi, zato se nalaga v obliki apnenčastih oborin (Matoničkin in Pavletić, 1972).

Ker obstaja povezava med pH in anorganskimi oblikami ogljika, so raziskovalci dokazali katera oblika ogljika in katera reakcija se pri določenem pH odvija. Pri  $\text{pH} < 8$  prevladuje reakcija nastanka ogljikove kisline, pri  $\text{pH} > 10$  pa prevladuje reakcija nastanka hidrogenkarbonata ( $\text{HCO}_3^-$ ). V območju  $\text{pH} < 5$  prevladuje v vodah prosti  $\text{CO}_2$ , med 7 in 9 je največ anorganskega ogljika v obliki  $\text{HCO}_3^-$  in pri  $\text{pH} > 9,5$  prevladuje  $\text{CO}_3^{2-}$  (Wetzel, 2001).

Ogljikov dioksid v tekočih vodah regulira zelo pomembne fizikalno kemijske procese, ki so v tesni povezavi s temperaturo. Pri višjih temperaturah so ti procesi znatno hitrejši. Meja za temperaturo, glede na izsledke Matoničkina in Pavletića (1972), je  $15\text{ }^\circ\text{C}$ . Če je višja, potem se pospeši proces difundiranja  $\text{CO}_2$  iz vode in cepljenje bikarbonata. Pri nižjih zasledimo obraten proces. Wetzel (2001) navaja, da pri  $0\text{ }^\circ\text{C}$  difundira  $1,1\text{ mg/L}$   $\text{CO}_2$  iz ozračja v vodo, pri  $15\text{ }^\circ\text{C}$  pa le še  $0,6\text{ mg/L}$ .

Vpliv pH na vodne nevretenčarje je v močni povezavi z drugimi, ob določenem pH, dostopnimi ioni kot so aluminij, kalcij, magnezij. V bazičnem okolju je dostopnih več različnih elementov, kar vodi v večjo vrstno pestrost vodnih organizmov. Mladoletnice in

mehkužci se, prav zaradi dostopnosti določenih elementov, izogibajo mest z nizkim pH, medtem ko so vrbnice in črne mušice v rahlo kislem okolju dobro zastopane. V bazičnem okolju so makrofiti pogostejši, veliki organski delci hitreje razpadajo, tako se zagotovi hrana drobilcem in detritivorom. Na rahlo alkalne vode manj vplivajo kemijski dejavniki. Raziskave o vplivu pH na nevretenčarje so obširne, ampak je težko razbrati vpliv pH. Istočasno se pomembni še drugi dejavniki, kot so podnebje, geologija, raba tal, hranila, elektroprevodnost, temperatura, substrat in oddaljenost od izvira. Dobljene rezultate o vplivu pH na makroinvertebrate je težko interpretirati, saj veliko teh dejavnikov korelira. Poleg tega so to enkratne raziskave in rezultati, ki so lahko odraz bioloških dejavnikov, kot so pojav bolezni in parazitov v populaciji (Giller in Malmqvist, 1998).

#### **2.6.6 Nitrati**

Dušik se v tekočih vodah pojavlja v več oblikah; v aminokislinah (proteinih) je lahko v anorganski obliki kot raztopljen elementarni dušik, amonijak, nitrit in nitrat (Wetzel, 2001). Nitratni ioni so pogosto prisotni v naravnih vodnih telesih, ker so končni produkt aerobne razgradnje organskih dušikovih spojin. Drugi viri nitratov v površinskih vodah so spiranje površin, odmrla dela rastlin in živali ter vulkanske kamnine. V neonesnaženih vodah so sezonske spremembe nitratov posledica primarne produkcije in odmiranja organizmov, vendar nikoli ne presegajo vrednosti 1 mg/L. Koncentracije nad to mejo so posledica spiranja gnojnih kmetijskih površin, takrat se vrednosti gibljejo med 1 mg/L in 10 mg/L (Urbanič in Toman, 2003). Wetzel (2001) navaja, da so že vrednosti nad 0,2 mg/L posledica spiranja kmetijskih površin. Če vrednosti nitratov dosegajo 25 mg/L, to nakazuje na prisotnost komunalnih in industrijskih odpadnih voda (Urbanič in Toman, 2003). Povečana koncentracija anorganskega dušika ni samo posledica spiranja kmetijskih površin in vnašanja različnih odplak. Na njo vpliva tudi obrežna vegetacija, ki v zimskem času miruje, v poletnih mesecih pa je lahko s košnjo odstranjena (Wetzel, 2001).

Nitratni ion je pomembna hranilna snov za fotoavtotrofne organizme, saj ga le-ti asimilirajo in vgrajujejo v lastne celične proteine, zato se njegova koncentracija spreminja sezonsko in dnevno. Povišane koncentracije nitratov predstavljajo problem, saj povzročajo



v vodi proces evtrofikacije in intenzivno rast primarnih producentov, cvetenje. Prav tako lahko vplivajo na lastnosti podtalnice in s tem na kakovost same pitne vode (Urbanič in Toman, 2003).

Živali imajo zelo majhen vpliv na dušikov cikel v vodi. Pod določenimi pogoji lahko paša vodnih organizmov vpliva na mikrobno populacijo, in s tem na hitrost pretvorbe dušika in možnost privzema anorganskih oblik dušika pri avtotrofnih organizmih. Bakterijska oksidacija in redukcija dušikovih spojin je povezana z dostopnostjo različnih oblik dušika algam, fotosinteznim bakterijam in večjim vodnim rastlinam (Wetzel, 2001).

### **2.6.7 Fosfor**

V vodah poznamo raztopljen anorganski fosfor (ortofosfat), polifosfat ter fosfat vezan v organskih spojinah. Pretvorbe med temi spojinami v vodnih telesih potekajo kontinuirano v odvisnosti od razgradnje in sinteze organskih spojin ter oksidacije anorganskih spojin. Naravni viri fosforja so preperle kamnine in razgrajene organske snovi. V vodi je fosfor redko prisoten v visokih koncentracijah, predvsem zaradi aktivnega privzemanja primarnih producentov. V neobremenjenih vodnih telesih koncentracije ne presegajo vrednosti 0,1 mg/L. V vodotokih, ki tečejo skozi ekstenzivna kmetijska območja, se vrednosti povzpnejo na 0,25 mg/L. Še višje vrednosti so posledica komunalnih in industrijskih odpadnih voda (Urbanič in Toman, 2003).

Kateri organizmi bodo privzemali ortofosfat, je odvisno od lege struge, združbe organizmov in letnega časa. Kjer je večino struge reke osenčene, le 5 % fosforja privzamejo pritrjene alge, drugo se veže z bolj ali manj velikimi anorganskimi delci. V rekah, kjer prevladuje dekompozicija listja in drugih organskih delcev, je prevzem fosforja povezan s pritrjenimi glivami in bakterijami. Privzem s strani makrofitov, ki so odvisni od količine hranil v tleh, je manjši v primerjavi s algami in mikroorganizmi (Wetzel, 2001). Jeseni, v času odpadanja listja v gozdovih zmernega pasu, se poveča privzem ortofosfata na račun povečanja količine trdnih organskih delcev (Mulholland in sod., 1985; Klotz, 1986). Prav v tem času je maksimalna aktivnost gliv, ki razgrajujejo trdno organsko snov

in maksimalna bakterijska aktivnost, ki deluje na raztopljeno organsko snov (Suberkropp, 1995). Obseg privzemanja ortofosfata se zniža pozimi (Wetzel, 2001).

Bentični makroinvertebrati lahko v manjši meri povečajo stopnjo prenosa fosforja. Prenos je odvisen od aktivnosti prehranjevanja nevretenčarjev, črevesne razgradnje in izločanja, načina prehranjevanja in dihanja, ki spreminjajo redoks potencial v sedimentih in s tem topnost fosforja ter gibanje organizmov iz enega v drug habitat (Wetzel, 2001). Prevladujoče skupine makroinvertebratov, ki lahko vplivajo na tok fosforja so maloščetinci, postranice, školjke in trzače (Chironomidae).

Ko osebki vodnih nevretenčarjev odrastejo, večinoma migrirajo v druge ekosisteme, z njimi pa potuje tudi vgrajen fosfor. Ball (1963) in sodelavci so ugotovili, da je fosfor v ribah in vodnih nevretenčarjih migriral po toku navzgor. Ta premik fosforja igra le majhno vlogo v celotnem kroženju fosforja v tekočih vodah (Wetzel, 2001).

Ker je fosfor bistvena komponenta kroženja med živo (predvsem floro) in neživo naravo vodnih teles, je vključen v vrednotenje trofičnega stanja vodnih teles in program monitoringa. Zviševanje koncentracij fosforja kot posledica človeške aktivnosti velja za osnovni vzrok evtrofikacije (Urbanič in Toman, 2003).

### 3 MATERIAL IN METODE

#### 3.1 IZBIRA VZORČNIH MEST IN OBDOBJE RAZISKAV

Raziskave smo izvedli na reki Voglajni v občini Šentjur. Vodotok je bil v preteklosti klasificiran kot eden najbolj organsko obremenjenih v Sloveniji, po izgradnji centralne čistilne naprave se je stanje izboljšalo. Da bi to potrdili, smo v reki izbrali tri vzorčna mesta. Prvo vzorčno mesto označeno kot P1 je bilo v zgornjem toku reke Voglajne, pri kraju Vezovje. Predstavlja referenčno mesto, kjer še ni velikega vpliva kmetijstva ter industrije. Je okoli 4 km pred komunalno čistilno napravo Šentjur. Drugo vzorčno mesto P2 v naselju Hruševce je dobrih 400 metrov pred komunalno čistilno napravo. Na odseku P2 in P1 je struga reke speljana ob naseljih (Nova vas, Črnolica in Hruševce) in večjih industrijskih obratih (klavnica podjetja Farme Ihan d.o.o. in Bohor žaga in furnirnica). Na tem delu se vanjo stekajo trije večji potoki, ki prihajajo iz centra Šentjurja, Ponikve in Jakoba. Na tem vzorčnem mestu smo želeli ovrednotiti stanje reke Voglajne po dotoku potokov, industrijskih odpadkov, vplivov naselij in kmetijstva. Tretje vzorčno mesto P3 je bilo pod mostom čez Voglajno v Vrbnem, po iztoku iz centralne čistilne naprave. Na tem mestu smo dejansko ugotavljali vpliv čistilne naprave na ekološko stanje reke Voglajne.

Vzorčili smo od avgusta leta 2009 do avgusta 2010. Izvedli smo tri vzorčenja: poletno 25. 8. 2009, jesensko 24. 11. 2009 in poletno vzorčenje 24. 8. 2010.

## 3.2 OPIS VZORČNIH MEST

### 3.2.1 Vzorčno mesto P1

Prvo vzorčno mesto je bilo izbrano ob cesti, ki vodi iz Šentjurja v Dobje ter naprej proti Planini pri Sevnici, malo pred naseljem Vezovje, gledano iz smeri Šentjurja proti Dobju. Rečna struga je na ravninskem delu Gorice pri Slivnici, na obeh straneh brega so kmetijske površine. V naselju Cesta Kozjanskega odreda je na levem bregu travnik, na desnem pa gozd. Po 300 metrov toka je gozdno območje in izbrano vzorčno mesto P1.

Desni breg reke je obraščen z drevesnimi vrstami in nizkih grmičevjem. Tik ob levem bregu na zgornjem delu vzorčnega mesta stoji hiša, drugje so prisotne visoke zelnate rastline, kot najštevilčnejša je enoletna suholetnica (*Erigeron annuus*). Približno 10 metrov stran od levega brega je cesta. V jesenskem času je zaradi bližine gozda zelo veliko organskega drobirja, poleti je velik del reke zasenčen. Širina struge je 4,5 m, vodostaj je zelo spremenljiv, predvsem v času izpustov vode iz Slivniškega jezera. Ker struga reke ni regulirana, se tipično izmenjujejo brzice in tolmeni. V strugi so gosti sestoji klasastega rmanca (*Myriophyllum spicatum*) med katerim se skrivajo veliki vodni nevretenčarji. Veliko je organskih delcev, tudi kosov lesa.



Slika 2: Vzorčno mesto P1



**Slika 3: Ortofoto posnetek z označeno lokacijo vzorčnega mesta P1**  
(Vir: [http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas\\_Okolja\\_AXL@Arso](http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso))

### 3.2.2 Vzorčno mesto P2

Vzorčno mesto P2 smo določili 100 m stran od asfaltirane obgozdne poti med naseljema Vrbno in Hruševac. Leži 400 m pred iztokom iz čistilne naprave v smeri Hruševac -Vrbno. Širina struge je 10 m. Večina vode teče po desnem delu struge, na levem delu je prodišče. Oba bregova poraščajo predvsem koprive (*Urtica dioica*), robidovje (*Rubus* sp.) ter žlezava nedotika (*Impatiens glandulifera*). Bregove utrjujejo vrbe (*Salix* spp.), ki se sklanjajo nad vodno gladino, zasledimo tudi črni bezeg (*Sambucus nigra*). V zaledju obeh bregov se razprostirajo njive. Odsek je hidrološko pester, substrat sestavlja predvsem mikrolital, globina je neenakomerna, saj je pred prodiščem in delno poleg globina vode nizka, nato pa se dno reke strmo poglobi do 1,5 m globine. V vodi ni prisotnih makrofitov, prav tako kamni niso porasli z algami. Na tem vzorčnem mestu smo opazili veliko odpadkov v strugi med drugim stari motor, razne kovinske dele, oblačila ter plastične vrečke. Vedno smo zaznali močan vonj po svežem gnoju oziroma gnojevki. Nekaj metrov (okoli 10 m) nad vzorčnim mestom priteče v vodotok odpadna komunalna voda iz

okoljskih hiš. V jesenskem vzorčenju je bilo v vodi, zaradi vrh, ki se prevešajo nad strugo veliko lesa in večjih ter drobnih organskih delcev.



**Slika 4: Vzorčno mesto P2**



**Slika 5: Ortofotoposnetek z označeno lokacijo vzorčnega mesta P2**  
(Vir: [http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas\\_Okolja\\_AXL@Arso](http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso))

### **3.2.3 Vzorčno mesto P3**

Na desni strani mostu čez Voglajno v smeri Vrbeno- Hruševca smo izbrali tretje vzorčno mesto za iztokom iz čistilne naprave. Razdalja od izpusta ter do mesta vzorčenja je bila dovolj velika, da se rečna voda in voda iz čistilne naprave dobro premešata. Širina struge na tem odseku je 9,5 m, substrat je heterogen. Največji delež predstavlja mezolital, manj

mikrolital in psamal. Bregova sta porasla z zelnatimi rastlinami, predvsem izstopata enoletna suholetnica (*Erigeron annuus*) in žlezava nedotika (*Impatiens glandulifera*), in vrbami (*Salix* sp.), ki v poletnih mesecih senčijo del struge. Nedaleč stran od levega brega je makadamska cesta, poleg nje pa se razprostira mešani gozd. Desno stran brega velikokrat lastniki bližnjega zemljišča pokosijo in pokošene dele rastlin ter vej zakurijo. V zaledju tega brega je njiva ter 100 m oddaljena cesta. To vzorčno mesto se je od ostalih dveh razlikovalo po tem, da je v vodi prisoten kodravi dristavec (*Potamogeton crispus*), 80% je tudi nitastih alg. V vodi smo opazili velike betonske ostanke.



Slika 6: Vzorčno mesto P3



Slika 7: Ortofoto posnetek z označenim vzorčnim mestom P3  
(Vir: [http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas\\_Okolja\\_AXL@Arso](http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso))

### 3.3 MERITVE HIDROMORFOLOŠKIH PARAMETROV

Hidromorfološki parametri vplivajo na številne vrednosti fizikalnih in kemijskih dejavnikov in posledično na prisotnost življenjskih združb. Na vsakem vzorčnem mestu smo izmerili globino vode, hitrost vodnega toka in opisali tip substrata.

#### 3.3.1 Globina

Z izmerjenimi vrednostmi globine vode, lahko določimo vodnatost vodnega telesa. Nizek vodostaj reke lahko povzroči tok podtalnice v vodotok, visok pa povzroči obraten tok, torej tok površinske vode v podtalnico.

Glede na globino vode in tip vodnega telesa, smo se odločili za meritev z lesenim metrom. Globino smo izmerili z lesenim metrom na različni oddaljenosti od desnega brega.

#### 3.3.2 Hitrost vodnega toka

Hitrost smo merili po novejši metodi z hidrometričnim krilom, ki je zasnovano na soodvisnosti med številom obratov vijaka in hitrostjo vodnega toka oziroma hidrodinamičnih lastnosti krila. Hitrost smo merili na istih točkah kot smo merili globino vode. Na vsakem vzorčnem mestu smo hidrometrično krilo nastavili na izbrano globino, torej na 6/10 globine vode, in ga usmerili proti vodnemu toku. Iz zbranih podatkih o hitrosti vodnega toka na različnih mestih oddaljenosti od desnega brega, smo izračunali povprečno hitrost (Urbanič in Toman, 2003).

#### 3.3.3 Substrat

Anorganski in organski substrat smo ocenili po metodi AQUEM iz leta 2002, ki se uporablja za ekološko vrednotenje vodotokov v Evropski uniji. Razvrstili smo ju glede na vrsto in velikost delcev. Nato pa še določili deleže, ki jih posamezna kategorija zaseda na rečnem dnu (Urbanič in Toman, 2003).



**Preglednica 1: Razvrstitev anorganskega substrata po velikosti delcev (po AQEM 2002)**

Kategorija	Opis	Premer delcev (cm)
Megalital	Skale, živa skala	>40
Makrolital	Veliki kamni	20 – 40
Mezolital	Majhni kamni	6 – 20
Mikrolital	Veliki prodniki	2 – 6
Akal	Majhni in srednji prodniki	0,2 – 2
Psamal	Pesek in blato	0,006 – 0,2
Argilal	Mulj, glina	<0,006

**Preglednica 2: Razdelitev organskih substratov (po AQEM 2002)**

Kategorija	Opis
Alge	Nitaste alge, kosmi alg
Potopljeni makrofiti	Cvetnice, hare, mahovi
Emergentni makrofiti	Šaši, trst, rogoz, ježki itd.
Živi deli kopenskih rastlin	Majhne korenine, plavajoči deli obrežne vegetacije
Ksilal (les)	Debla, veje, odmrle korenine
Večji odmrli organski delci (CPOM)	Delci >1 mm; npr. odpadlo listje, iglice
Manjši odmrli organski delci (FPOM)	Delci velikosti od 0,45 µm do 1 mm
»Sewage fungus«	Heterotrofne saprofitske bakterije in glive

### 3.4 MERITVE FIZIKALNIH IN KEMIJSKIH SPREMENLJIVK

Najpogostejše vrednotenje stanja vodotokov je prav na osnovi merjenja teh dveh vrst spremenljivk. Na vsakem vzorčnem mestu smo izmerili naslednje fizikalne in kemijske parametre: temperatura, koncentracija raztopljenega kisika, nasičenost vode s kisikom, pH in elektroprevodnost. Za laboratorijsko analizo koncentracije nitratnih, ortofosfatnih ionov in suspendiranih snovi, smo na terenu vzeli vzorce vode.

#### 3.4.1 Temperatura in kisikove razmere

Oksimeter (WTW Multi 340i/Cell Ox 325) je naprava s katero smo na terenu izmerili koncentracijo raztopljenega kisika (mg/L), nasičenost vode s kisikom (%) ter temperaturo (°C), od katere sta prej opisana parametra odvisna. Na zadnjem vzorčenju smo merili te parametre z napravo HACH HQd Field Case (HQ40d multi).

#### 3.4.2 Elektroprevodnost

Sposobnost vode, da prevaja električni tok ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), smo izmerili s konduktometrom (WTW Multi 340i/TetraConR 325).

#### 3.4.3 pH

Vrednost pH smo določili s pH metrom (WTW Multi 340i/SenTix 41- 3). Tudi pH smo na zadnjem vzorčenju merili z napravo HACH HQd Field Case (HQ40d multi).

#### 3.4.4 Skupne suspendirane snovi

Vzorec vode (1 l), ki smo ga vzeli na vzorčnem mestu, smo prefiltrirali skozi stehtan, posušen filter papir. Mokrega smo dali v sušilnik za 2 uri na 105 °C. Po sušenju smo ga prenesli v eksikator, kjer se je ohladil, nato smo ga ponovno stehali. Razlika v masi filtra s suspendiranimi snovmi in masi praznega filtra, glede na volumen prefiltriranega vzorca, je bila količina skupnih suspendiranih snovi (mg/L).

### **3.4.5 Koncentracija nitratnih ionov**

Vsebnost nitratov v vodotoku smo določali naslednji dan v laboratoriju po metodi z natrijevim salicilatom. Nitratni ioni tvorijo v mediju brezvodne žveplene kisline z natrijevim salicilatom rumeno obarvano nitrosalicilno kislino, ki jo določimo s spektrofotometrom pri valovni dolžini 430 nm. Dobljeno ekstinkcijo nato pomnožimo s koeficientom 9,63 in dobimo koncentracijo nitratov (Urbanič in Toman, 2003).

### **3.4.6 Koncentracija ortofosfatnih ionov**

Za ugotavljanje koncentracije ortofosfatnih ionov v vodotoku smo uporabili metodo s kositrovim (II) kloridom. Amonmolibdat tvori v kislem mediju fosformolibdat, ki ga reduciramo s kositrovim (II) kloridom v intenzivno modro obarvan kompleks. Spojini s spektrofotometrom pri valovni dolžini 690 nm zmerimo ekstinkcijo, ki jo pomnožimo s faktorjem 1,38. Tako dobimo koncentracijo ortofosfatov v vzorcu (Urbanič in Toman, 2003).

### 3.5 VZORČENJE IN DOLOČANJE MAKROINVERTEBRATOV

Za vzorčenje velikih vodnih nevretenčarjev smo si izbrali kvantitativno vzorčenje v skladu s protokolom AQEM 2002.

Na vzorčnem mestu smo na 20 metrov dolgem odseku vodotoka najprej opisali anorganski, organski substrat in tip tokov nato pa določili deleže posameznih kategorij, ki smo jih preračunali na število vzorčnih enot. Tako smo določili 20, glede na substrat in tokove, različnih vzorčnih mest.

Za vzorčenje smo uporabili standardno ročno mrežo z odprtinami 0,5 mm x 0,5 mm v okvirju velikosti 25 cm x 25 cm, pritrjenem na močnem držalu. Vzorčili smo po metodi »kick sampling« od najnižje, glede na tok, ležeče vzorčne enote navzgor proti toku. Na vsaki vzorčni enoti smo postavili mrežo pravokotno na substrat z odprtino proti toku. Enogo smo postavili pred odprtino mreže in z njo močno razbricali substrat približno 25 cm proti toku. Ko je tok v mrežo odnesel dvignjeno usedlino in živali, se je voda zbistrila, smo s potegom mreže proti vodnemu toku zajeli še preostale živali. Organizme, kamne, pesek, dele rastlin, ki smo jih zajeli z vzorčenjem smo preložili v banjico. Razporedili smo ga po celotnem dnu banjice ter razdelili na četrtine. Polovico vzorca smo dali v plastične vrečke, ki smo jih zalili z alkoholom, drugo polovico pa smo vrnili v vodotok. Vzorce smo odnesli v laboratorij, iz njih prebrali makroinvertebrate, ki smo jih nato shranili v 70 % etanol.

Iz vzorcev, vzetih na vzorčnih mestih, smo prebrali velike vodne nevretenčarje in jih razvrstili v višje taksonomske skupine (Ephemeroptera, Plecoptera, Coleoptera,...). S pomočjo določevalnih ključev pa smo jih uvrstili v določen takson.

### 3.6 BIOLOŠKE IN STATISTIČNE ANALIZE

Združbo makroinvertebratov v Voglajni smo prikazali kot seznam taksonov ter število osebkov in taksonov na posameznem vzorčnem mestu v določenem času vzorčenja. Določili smo deleže osebkov posameznih taksonomskih skupin in deleže prehranskih skupin glede na mesto in čas vzorčenja. Z indeksi smo ugotavljali spremembe vrstne sestave, strukture združbe in spremembe v številčnosti med različnimi vzorčnimi mesti v različnih časih.

#### 3.6.1 Deleži osebkov posameznih višjih taksonomskih skupin

Ulovljene osebkve velikih vodnih nevretenčarjev smo razvrstili v 14 višjih taksonomskih skupin: Gastropoda, Bivalvia, Oligochaeta, Hirudinea, Amphipoda, Isopoda, Hydracarina, Ephemeroptera, Plecoptera, Odonata, Heteroptera, Coleoptera, Trichoptera in Diptera.

Po naslednji enačbi smo izračunali delež osebkov višjih taksonomskih skupin upoštevajoč vsako vzorčno mesto ob treh različnih časih vzorčenja.

$$p_i = \frac{n_i}{n} \quad \dots(1)$$

kjer je,

$p_i$ .....delež osebkov  $i$ -tega višjega taksona

$n_i$ .....število osebkov  $i$ -tega višjega taksona

$n$ .....število vseh osebkov v vzorcu

#### 3.6.2 Deleži prehranskih skupin

Po knjigi Fauna Aquatica Austriaca (Moog, 1995) smo taksone uvrstili v 5 prehranskih skupin, ki so: detritivori (DET), strgalci (WEI), drobilci (ZKL, HOL, MIN), filtratorji (AFIL, PFIL) in plenilci (RÄU, PAR). Po uvrstitvi smo določili deleže prehranskih skupin glede na vzorčno mesto in čas vzorčenja.

### 3.6.3 Shannon- Wienerjev diverzitetni indeks

Omenjeni indeks je najbolj razširjen indeks za mero diverzitete. Njegova prednost je, da ni odvisen od površine, s katere so bili vzorci pobrani, je brezdimenzijski in v njem je upoštevana relativna abundanca vsakega taksona. Odvisen je od sezone in določanja taksonomskega nivoja organizmov. Pomembno je, da razlikujemo osebke različnih vrst, ne pa tudi, kateri vrsti pripadajo (Urbanič in Toman, 2003).

Enačba za izračun Shannon- Wienerjevega diverzitetnega indeksa (Washington, 1984) je:

$$H' = - \sum_{i=1}^n p_i \cdot \log_2 p_i \quad \dots(2)$$

H'....diverziteta

p<sub>i</sub>.....delež taksona i

n.....število taksonov

Višja kot je vrednost H', večja je diverziteta. Maksimalne vrednosti diverzitete so med 4 in 5. Na osnovi Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa sta Wilhm in Dorris (Washington, 1984) predlagala interpretacijo kakovosti vodnega okolja (Urbanič in Toman, 2003). Sestavila sta sledečo tabelo:

**Preglednica 3: Kakovost vodnega okolja v odvisnosti od vrednosti Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa (po Wilhm&Dorris, 1966, v: Washington, 1984)**

Vrednost diverzitetnega indeksa	Kakovost vode
H' > 3	Neobremenjena
H' = 2-3	Malo obremenjena
H' = 1-2	Srednje obremenjena
H' < 1	Močno obremenjena

### 3.6.4 Saprobní indeks

S saprobnim indeksom ugotovimo stopnjo organske obremenjenosti vodotoka na podlagi indikatorskih organizmov. Za vsako vrsto je določena saprobna vrednost  $s_i$ , ki jo dobimo tako da pomnožimo število točk v vsaki saprobni stopnji s številom stopnje in nato vsoto zmnožkov delimo z 10. Za vsako vrsto je določena tudi indikatorska vrednost  $G$  v območju med 1 do 5. Vrednosti  $s$  in  $G$  smo povzeli po knjigi *Fauna Aquatica Austriaca* (Moog, 1995) in *Biological assessment of stream water quality* (Toman in Steinman, 1995). Vrednosti saprobnega indeksa smo izračunali po naslednji enačbi:

$$SI = \frac{\sum_{i=1}^n (h_i \cdot G_i \cdot s_i)}{\sum_{i=1}^n (h_i \cdot G_i)} \quad \dots(3)$$

$h_i$ ....absolutna ali relativna abundanca i-tega taksona

$G_i$ ....indikatorska vrednost i-tega taksona

$s_i$ .....saprobná vrednost

$n$ .....število taksonov

Saprobní indeks (SI) obsega štiri osnove stopnje obremenjenosti s tremi vmesnimi stopnjami.

**Preglednica 4: Vrednosti saprobnega indeksa in pripadajoči kakovostni razredi (po Sladečku, 1973)**

Saprobná stopnja	Vrednost SI	Kakovostni razred	Stopnja obremenjenosti vodotoka
Oligosaprobná	1,0 – 1,5	1	neobremenjena do zelo malo obremenjena
Oligo do $\beta$ -mezosaprobná	<1,5 – 1,8	1 – 2	majhna
$\beta$ -mezosaprobná	<1,8 – 2,3	2	zmerna
$\beta$ do $\alpha$ -mezosaprobná	<2,3 – 2,7	2 – 3	srednja
$\alpha$ -mezosaprobná	<2,7 – 3,2	3	srednja do močna
$\alpha$ -mezosaprobná do polisaprobná	<3,2 – 3,5	3 – 4	močna
polisaprobná	<3,5 – 4,0	4	zelo močna

Prednost saprobnega indeksa je, da upošteva večje število taksonov in je uporaben za vse tipe tekočih voda. Slabost pa je v zahtevnem določevanju organizmov, ki morajo biti v večini primerov določeni do vrste.

### 3.6.5 Klastrska analiza združbe makroinvertebratov

Podobnost med vzorčnimi mesti ob različnih časih vzorčenja prikazujemo s klastersko analizo združbe velikih vodnih nevretenčarjev. Za mero podobnosti smo izbrali Bray-Curtisov in Sørensenov indeks podobnosti.

#### 3.6.5.1 Bray- Curtisov indeks

Ta indeks nam prikaže podobnost med dvema vzorcema na podlagi števila osebkov iz taksonov, ki so vzorcema skupni. Bray-Curtisova enačba:

$$S_{BC} = \frac{2W}{(A + B)} \quad \dots(4)$$

$S_{BC}$  ....Bray- Curtisova enačba

W .....število skupnih osebkov v obeh vzorcih

A .....število osebkov v 1. vzorcu

B .....število osebkov v 2. vzorcu

Podatke smo predhodno logaritmirali, da se je pomen zelo številčnih taksonov nekoliko ublažil. Vzorčna mesta, ki bodo imela med seboj podobno število osebkov, bodo imela vrednost indeksa okoli 0. Vrednosti okoli 1 bodo imela mesta z najmanjšo stopnjo podobnosti. Rezultati so prikazani v obliki dendrograma, ki smo ga naredili z računalniškim programom SYN-TAX (Podani, 2001).



### 3.6.5.2 Sørensenov indeks podobnosti

Omenjeni indeks je podoben Bray-Curtisovemu indeksu. Njegova osnova je število skupnih vrst, ne pa število osebkov, ki so vzorcema skupni. Rezultati so prikazani v obliki dendrograma. Vzorčna mesta, ki bodo imela med seboj največ podobnih taksonov, bodo imela vrednost indeksa okoli 0. Vrednosti okoli 1 bodo imela mesta z najmanjšo stopnjo podobnosti

### 3.6.6 Kanonična korespondenčna analiza (CCA)

Vpliv izbranih okoljskih spremenljivk na sestavo makroinvertebratske združbe smo ugotavljali s kanonično korespondenčno analizo (CCA). Ta upošteva Shelfordov zakon tolerance, po katerem vsaka vrsta najbolje uspeva pri določeni optimalni vrednosti spremenljivke.

Da lahko vzorce analiziramo s CCA, mora biti odvisnost med okoljsko spremenljivko in številčnostjo unimodalna. To preverimo z DCA analizo v programu CANOCO 4.0 (Ter Braak in Šmilauer, 2002), kjer mora biti prva lastna vrednost večja od 0,4. Sledila je serija CCA analiz, v katere smo vključili podatke o prisotnosti in številčnosti taksonov v vzorcih, ki smo jih uredili v matriko taksonov (Y), in podatke o izbranih spremenljivkah okolja in časa na posameznih vzorčnih enotah. Podatkov nismo transformirali. Program nam je razvrstil ekološke dejavnike glede na delež pojasnjene variance izbrane spremenljivke (od največ proti najmanj). Z metodo izbiranja (»forward selection«) smo izbrali le tiste spremenljivke, ki so imele najvišji delež pojasnjene variance (v našem primeru jih je 8). Od izbranih ekoloških spremenljivk smo obravnavali le tiste, ki statistično značilno pojasnjujejo ( $p < 0,1$ ) variabilnost makroinvertebratske združbe. Tako smo se izognili delu variance, ki ga spremenljivke pojasnjujejo zaradi naključja. Spremenljivke so bile izbrane na podlagi rezultatov permutacijskih testov Monte Carlo. S ponovno metodo izbiranja (izbrali smo le 3 spremenljivke) smo bolj zanesljivo določili delež pojasnjene variance izbrane spremenljivke.

Analiza CCA pojasni, kolikšen delež variabilnosti združbe lahko pojasnimo s posamezno izbrano spremenljivko okolja, pri čemer variabilnost pomeni spremembe v prisotnosti in številčnosti posameznih taksonov (prostorske in časovne). Pojasni nam tudi, kolikšen delež variabilnosti združbe skupno pojasnimo z izbranimi spremenljivkami okolja in časa.

## 4 REZULTATI

### 4.1 HIDROMORFOLOŠKI PARAMETRI

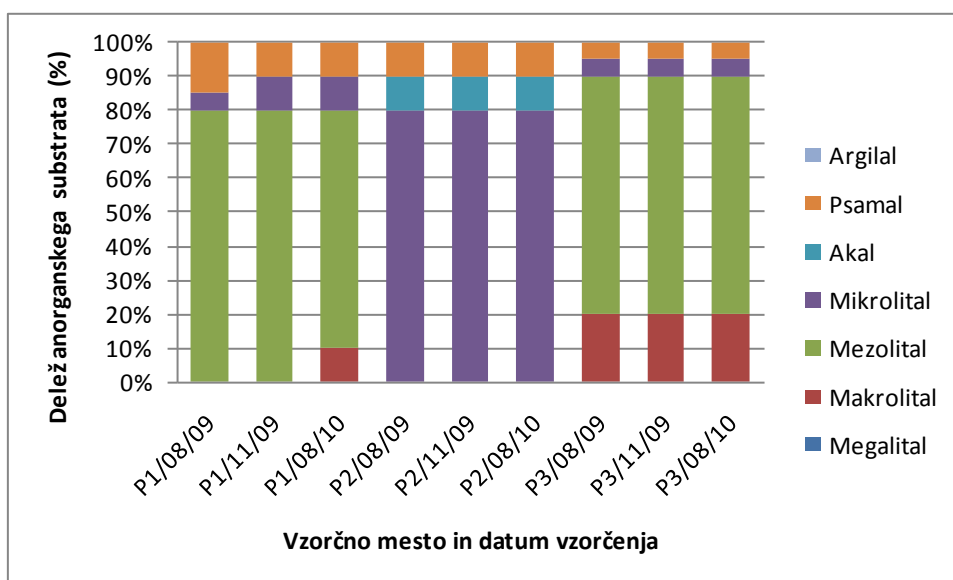
#### 4.1.1 Vodni tok

Preglednica 5: Hitrost vodnega toka na vzorčnih mestih 25. 8. 2009

Vzorčno mesto			
	P1	P2	P3
Hitrost vodnega toka	0,11m/s	0,78m/s	0,47m/s

Na mestu P3, torej v spodnjem toku Voglajne, je hitrost vodnega toka znašala 0,47 m/s. Na vzorčnem mestu P2 je substrat zelo raznolik, izmenjujejo se brzice in tolmini. V brzicah smo izmerili hitrost 0,78 m/s. V zgornjem toku je izmerjena hitrost znašala 0,11 m/s.

#### 4.1.2 Anorganski in organski substrat



Slika 8: Deleži anorganskega substrata na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni ob treh različnih datumih vzorčenja

Ugotovili smo, da je bila sestava anorganskega substrata na mestih P1 in P3 zelo podobna. Obe vzorčni mesti sta imeli največji delež mezolitala ter v 5% - 10 % mikrolitala ter psamala. Mesto P3 je imelo 20 % makrolitala, ki ga predstavljajo veliki, z nitastimi algami porasli, odvrženi betonski robniki. Zelo izstopa vzorčno mesto P2, katerega dno v 80 % prekriva mikrolital, ob robovih reke je le malo akala in psamala.

Sestava anorganskega substrata se je spremenila samo na mestu P1, kjer smo pri zadnjem vzorčenju zasledili 10% makrolitala.

**Preglednica 6: Deleži organskega substrata na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni ob treh različnih datumih vzorčenja**

Datum	25. 8. 2009			24. 11. 2009			24. 8. 2010		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Vzorčno mesto									
Alge (%)	0	0	80	0	0	80	5	0	80
Potopljeni makrofiti (%)	20*	0	+	20*	0	0	20*	0	++
Emergentni makrofiti (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Živi deli kopenskih rastlin (%)	0	+	0	0	0	0	+	0	0
Ksilal (%)	+	+	+	+	+	+	++	++	+
Večji organski delci (CPOM) (%)	+	+	+	++	++	+	+	+	0
Drobni organski delci (FPOM) (%)	0	0	0	0	++	0	0	0	+
»sewage fungus« (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0

+substrat zajema manj kot 5% površine rečnega dna

\*klasasti rmanec (*Myriophyllum spicatum*)

Čas vzorčenja na deleže organskega substrata na vzorčnih mestih ni vplival. Večje razlike je zaznati med samimi vzorčnimi mesti.

Na vzorčnem mestu P1 se je večina velikih makroinvertebratov skrivala med klasastim rmancem (*Myriophyllum spicatum*), ki je pokrival 20 % rečnega dna. Le pri zadnjem vzorčenju smo zasledili nekaj alg.

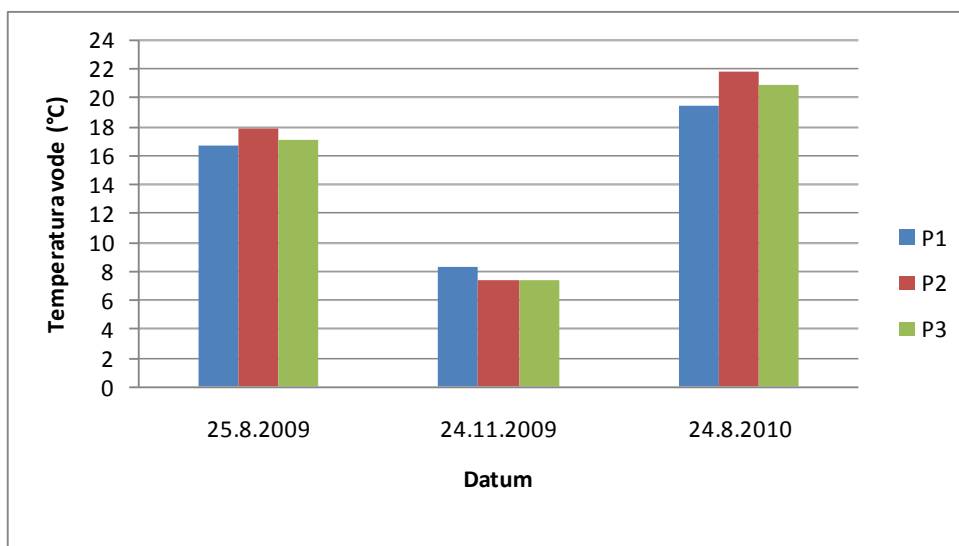
Substrat mesta P2 ni bil poraščen, na površini vode so plavali deli obrežne vegetacije. Nekaj je bilo tudi naplavin.

Za mesto P3 je bila, ne glede na čas vzorčenja, značilna poraščenost z algami, ki je bila kar 80 %. Na določenem delu je dno poraščal potopljeni makrofit, kodravi dristavec (*Potamogeton crispus*).

Za vsa mesta je bil značilen ksilal (les) ter predvsem v jesenskem času veliko večjih organskih delcev kot je npr. odpadlo listje.

## 4.2 FIZIKALNE IN KEMIJSKE SREMENLJIVKE

### 4.2.1 Temperatura vode

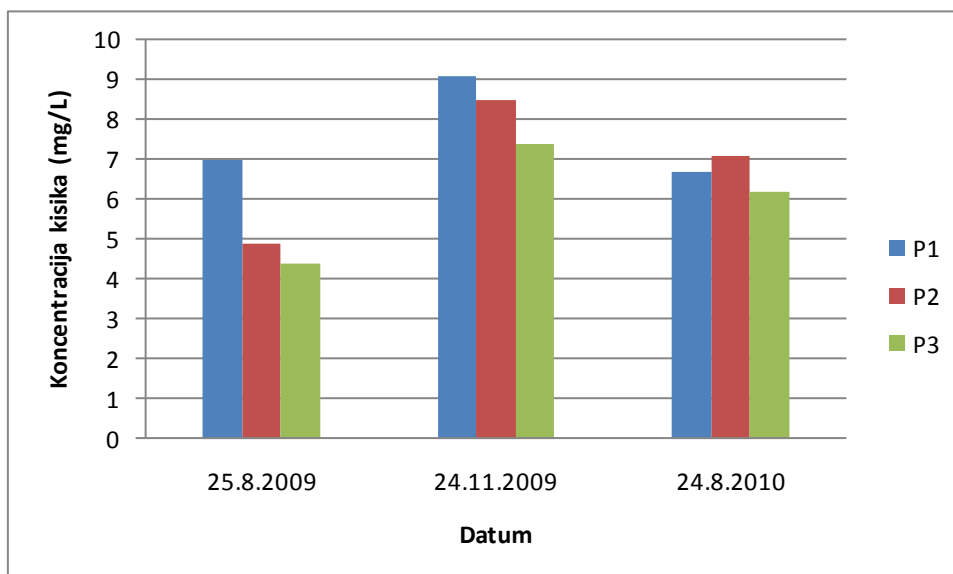


**Slika 9:** Temperatura vode na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni ob treh različnih datumih vzorčenja

Na temperaturo vode so imele vpliv sezonske vremenske spremembe. Najnižja izmerjena temperatura je bila 7,4 °C na vzorčnem mestu P2 in P3 v mesecu novembru. Najvišja pa avgusta leta 2010 na vzorčnem mestu P2, znašala je 21,8 °C.

Temperature vode so si bile glede na vzorčna mesta na enak dan vzorčenja podobne. Odstopanja so le okoli 1 °C. Ni vidne dinamike naraščanja temperature vode po toku navzdol. Razlika je med avgustom leta 2009 in 2010, kjer je temperatura vode na vseh vzorčnih mestih leta 2010 za 3 °C višja.

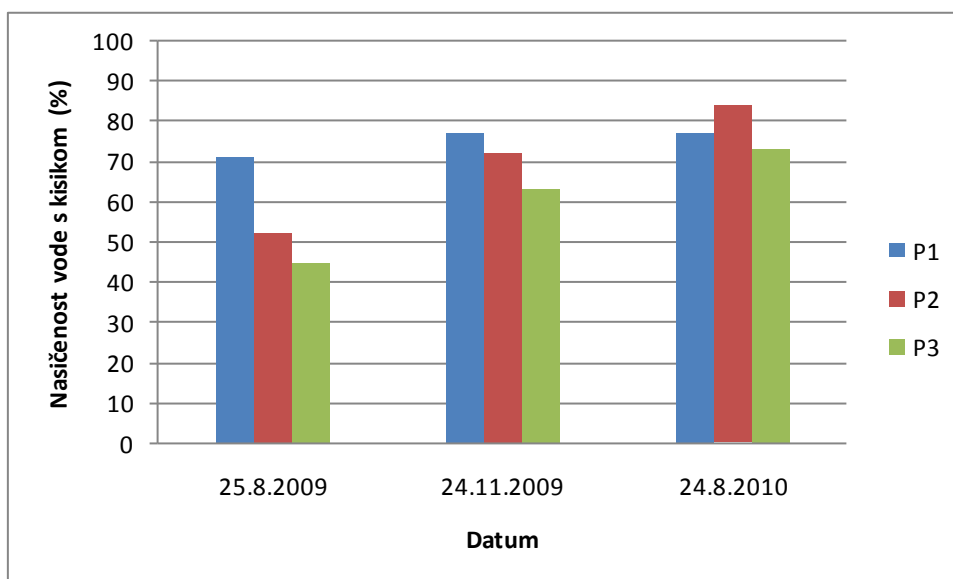
#### 4.2.2 Koncentracija raztopljenega kisika in nasičenost vode s kisikom



**Slika 10: Koncentracija raztopljenega kisika na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni ob treh različnih datumih vzorčenja**

Vrednosti koncentracije raztopljenega kisika v Voglajni niso nikoli presegale 10 mg/L. Najvišjo vrednost smo izmerili na vzorčnem mestu P1 (9,1 mg/L) meseca novembra 2009, najnižjo pa avgusta leta 2009 na P3, le 4,4 mg/L. Vrednosti so upadale od višje ležečega vzorčnega mesta k nižje ležečemu, na splošno pa so bile višje jesenske kot pa poletne vrednosti.

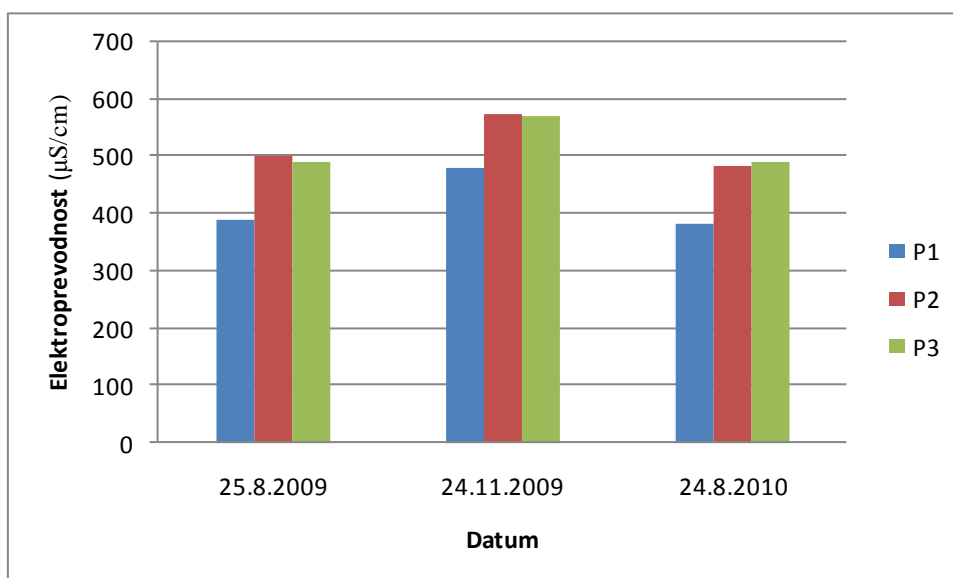
Koncentracija raztopljenega kisika izredno variira tako med vzorčnimi mesti kot med posameznimi mesti glede na sezono. Opaženo je tudi izboljšanje leta 2010 glede na prejšnje leto na mestih P2 in P3.



**Slika 11:** Nasičenost vode s kisikom na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni ob treh različnih datumih vzorčenja

Sliki nasičenosti vode s kisikom in koncentracije kisika v vodi kažeta enake trende. Nasičenost vode s kisikom se je spreminjala od najnižje 45% do najvišje 84%. Najnižja vrednost je bila izmerjena na mestu P3 meseca avgusta 2009, prav tako kot koncentracija kisika v vodi. Najvišja pa meseca avgusta leta 2010 na mestu P2. Razen izstopajočega mesta P2 na zadnjem vzorčenju, se opazi trend upadanja nasičenosti vode s kisikom po strugi navzdol. Tudi pri tem parametru je opazno rahlo izboljšanje stanja leta 2010.

### 4.2.3 Elektroprevodnost

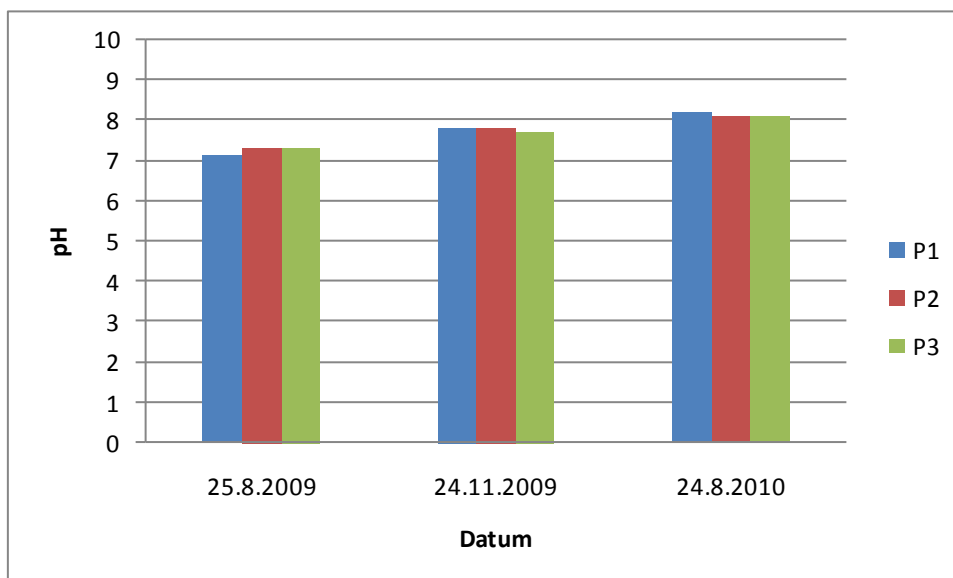


**Slika 12:** Elektroprevodnost na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni ob treh različnih datumih vzorčenja

Vrednosti elektroprevodnosti so se gibale med  $380 \mu\text{S}/\text{cm}$  in  $570 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Najvišjo smo izmerili na mestu P2 meseca novembra 2009, najnižjo pa na vzorčnem mestu P1 leta 2010. Vseskozi je imelo P1 najnižjo elektroprevodnost, ne glede na sezono. Mesti P2 in P3 sta imeli podobne vrednosti s tem, da je imelo P2 pri prvih dveh vzorčenjih višjo elektroprevodnost, pri zadnjem pa se je ta le malo zmanjšala glede na P3. Opazno je rahlo povečanje elektroprevodnosti v jesenskem merjenju na vseh vzorčnih mestih.



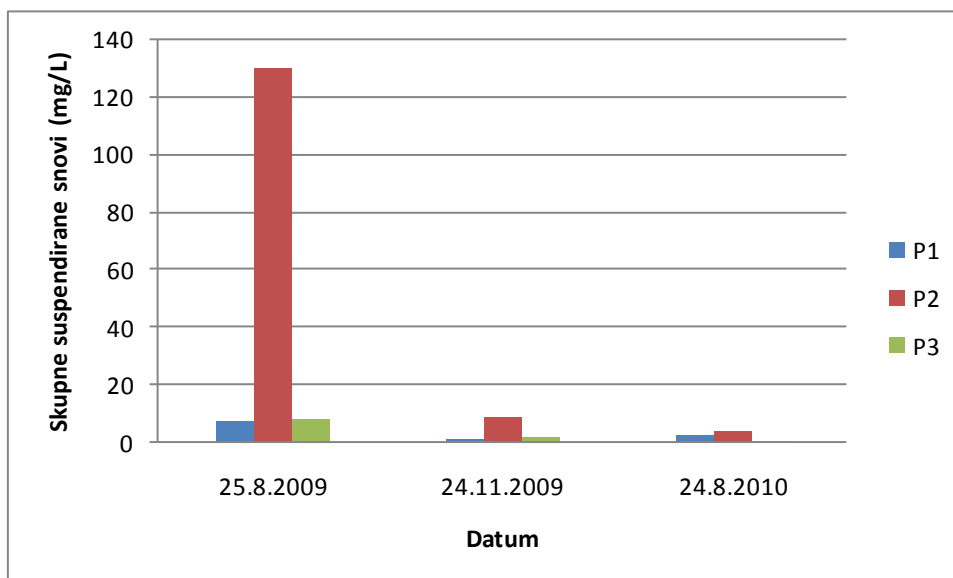
#### 4.2.4 pH



**Slika 13: Vrednosti pH na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni ob treh različnih datumih vzorčenja**

Vrednosti pH so bile glede na vzorčna mesta v istem dnevu vzorčenja izredno podobne, razlikujejo se za vrednost 0,1. Veliko razliko pa opazimo pri različnih časih vzorčenja. Razpon med najnižjo pH vrednostjo merjeno v avgustu leta 2009 na mestu P1 in najvišjo vrednostjo prav tako izmerjeno v enakem mesecu na enakem kraju leta 2010 je 1,1. Vrednosti pH so bile najnižje avgusta 2009, najvišje pa avgusta 2010 na vseh vzorčnih mestih.

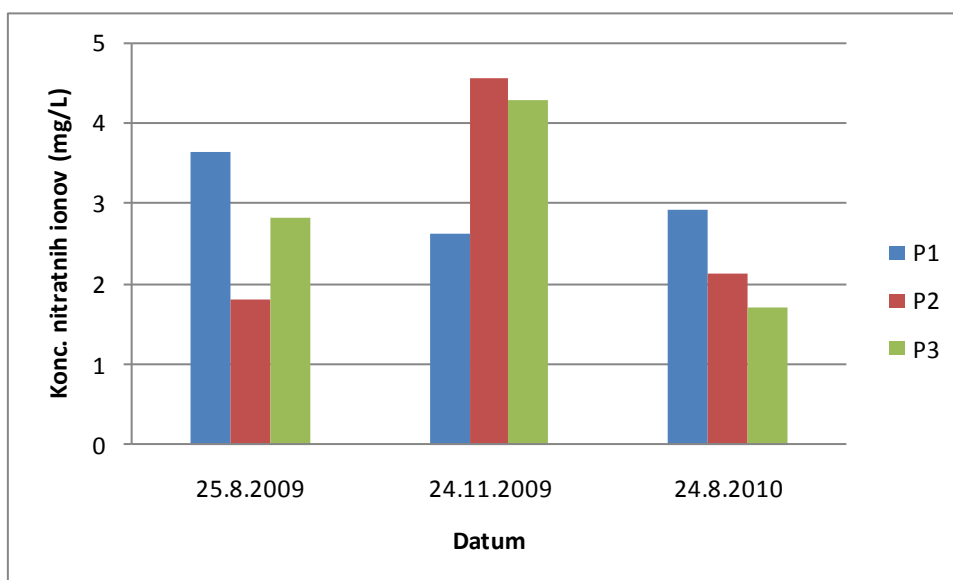
#### 4.2.5 Skupne suspendirane snovi



**Slika 14:** Količina skupnih suspendiranih snovi na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni ob treh različnih datumih vzorčenja

Koncentracija skupnih suspendiranih snovi je bila na splošno nizka. Vrednosti so se gibale do 10 mg/L. Najnižja izmerjena vrednost je bila na mestu P3, avgusta 2010, ko je znašala le 0,1 mg/L. Izjemno izstopa meritev iz 25. 8. 2009 na mestu P2, kjer je bila koncentracija suspendiranih snovi 130 mg/L. Mestu P2 smo na vseh vzorčenjih izmerili največ skupnih suspendiranih snovi. Vrednosti, ki smo jih izmerili na prvem poletnem vzorčenju so bile na vseh treh vzorčnih mestih višje od jesenskih merjenj in merjenj naslednje poletje.

#### 4.2.6 Koncentracija nitratnih ionov

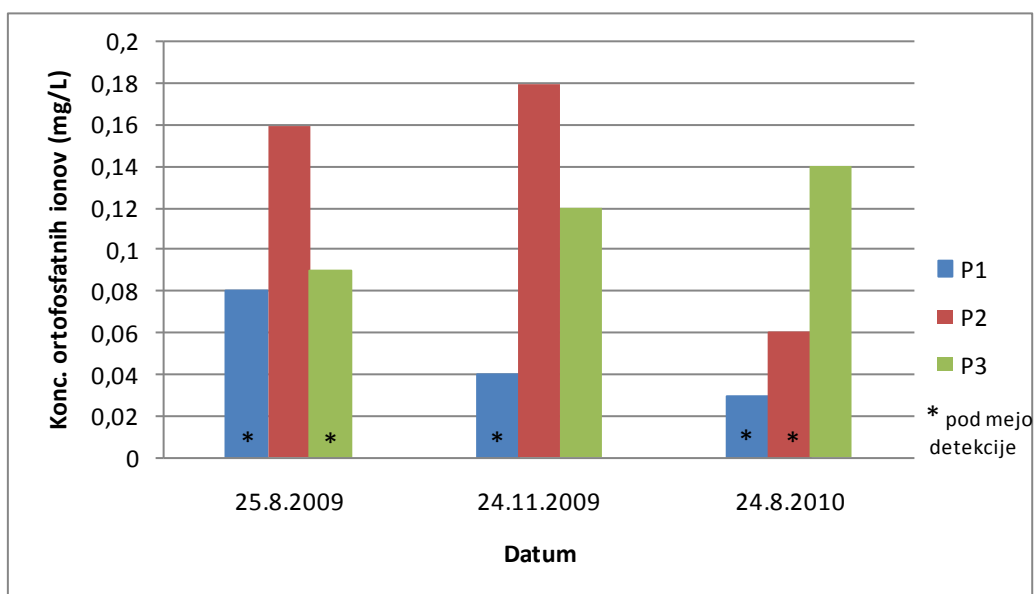


**Slika 15: Vsebnost nitratnih ionov na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni ob treh različnih datumih vzorčenja**

Vrednosti koncentracije nitratnih ionov so bile med 1,70 mg/L in 4,55 mg/L. Najnižjo koncentracijo smo izmerili na drugem poletnem merjenju na mestu P3, najvišjo pa na mestu P2 na jesenskem merjenju.

Na vseh vzorčnih mestih se je sezonsko koncentracija nitratnih ionov izredno spreminjala. V jesenskem času je bila vrednost najvišja na mestih P2 in P3, mesto P1 je pa imelo najvišjo vrednost v poletnem vzorčenju leta 2009. Rahel upad v koncentraciji nitratnih ionov je opazen tudi pri zadnjem vzorčenju na mestih P2 in P3.

#### 4.2.7 Koncentracija ortofosfatnih ionov

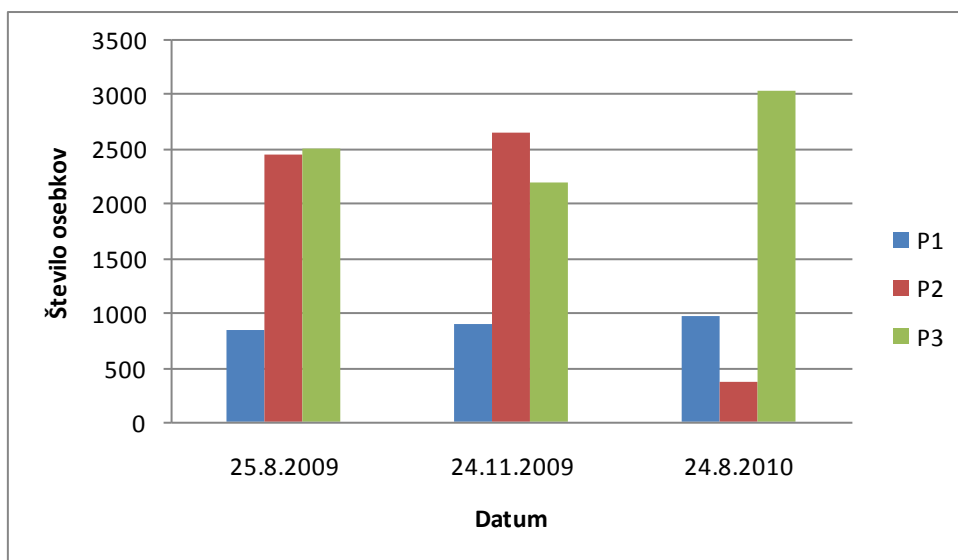


Slika 16: Vsebnost ortofosfatnih ionov na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni ob treh različnih datumih vzorčenja

Najvišja izmerjena koncentracija ortofosfatnih ionov je na mestu P2, merjeno jeseni 2009, znašala 0,18 mg/L. Na vzorčnem mestu P1 smo avgusta 2010 izmerili najnižjo vsebnost ortofosfatnih ionov. Vrednosti ortofosfatov so se na mestu P2 na zadnjem vzorčenju izboljšale, saj so se znižale za več kot polovico glede na prejšnja vzorčenja. Vseskozi je imelo vzorčno mesto P1 najnižjo vsebnost ortofosfatnih ionov. Pri P3 opazimo, da se je koncentracija teh ionov tekom našega vzorčenja zviševala, kar je nasprotno od mesta P1, kjer so te vrednosti upadale.

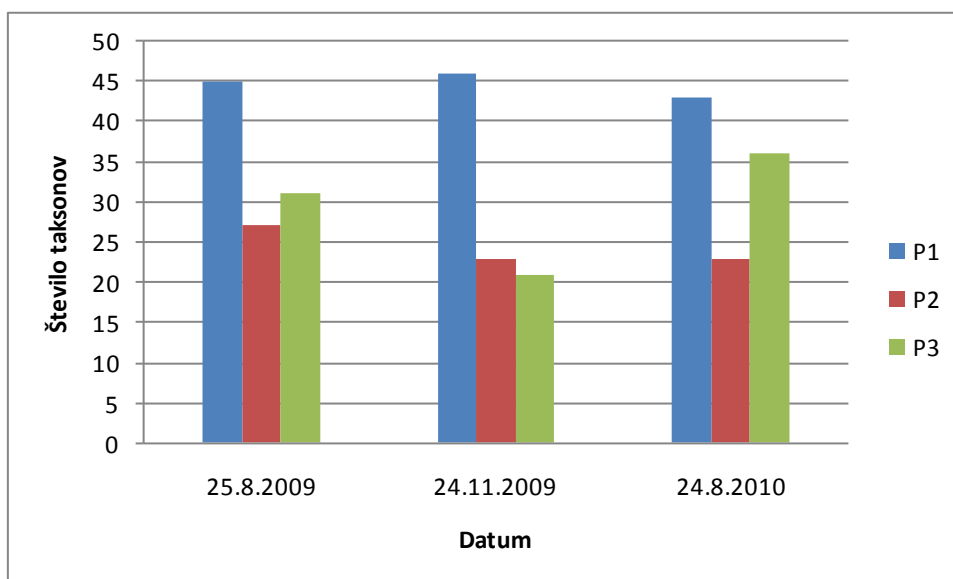
### 4.3 BIOLOŠKE IN STATISTIČNE ANALIZE

#### 4.3.1 Analiza sestave združbe makroinvertebratov



Slika 17: Število osebkov na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni ob treh različnih datumih vzorčenja

Največ osebkov smo našli 24. 8. 2010 na vzorčnem mestu P3, najmanj pa isti dan na mestu P2. Skupno je bilo najmanj osebkov na mestu P1, kjer je število le-teh med posameznimi vzorčenji podobno. Število osebkov na mestu P2 je drastično upadlo na zadnjem vzorčenju. Podatki iz poletnega in jesenskega vzorčenja leta 2009 so si dokaj podobni, medtem ko se številčnost osebkov leta 2010 na vzorčnih mestih P2 in P3 zelo spremeni.



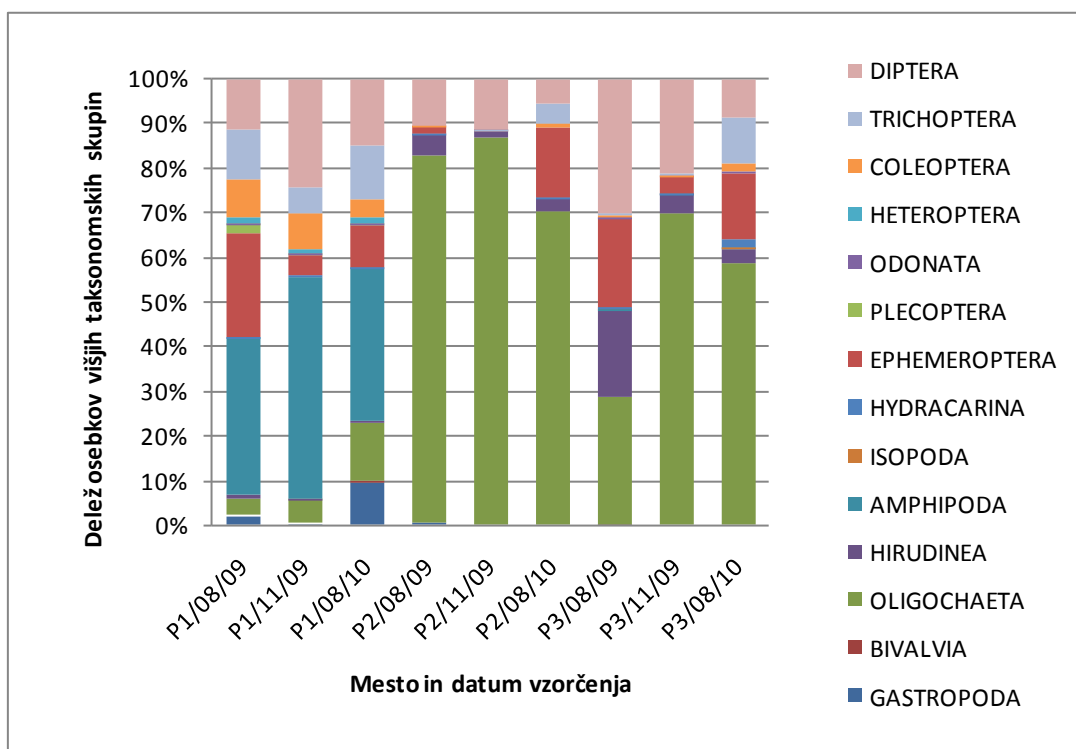
**Slika 18:** Število taksonov na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni ob treh različnih datumih vzorčenja

V nabranih 9 vzorcih smo določili 83 taksonov velikih vodnih nevretenčarjev. Seznam vseh najdenih taksonov je naveden v prilogi A.

Ugotovili smo, da je bilo največ taksonov najdenih na vzorčnem mestu P1, kar je bilo v skladu s pričakovanji. Njihovo število je bilo med posameznimi vzorčenji podobno. Prav tako ni bilo velikih sprememb na mestu P2, kjer je bilo, razen v jesenskem vzorčenju, vedno najmanj taksonov. Kar 10 taksonov manj je bilo na mestu P3 na jesenskem vzorčenju leta 2009, medtem ko se je na tem mestu število taksonov leta 2010 povečalo.

#### **4.3.2 Delež osebkov posameznih višjih taksonomskih skupin**

Določenih 83 taksonov smo razvrstili v 14 višjih taksonomskih skupin, in sicer; polži (Gastropoda), školjke (Bivalvia), maloščetinci (Oligochaeta), pijavke (Hirudinea), postranice (Amphipoda), enakonožci (Isopoda), vodne pršice (Hydracarina), enodnevnice (Ephemeroptera), vrbnice (Plecoptera), kačji pastirji (Odonata), stenice (Heteroptera), hrošči (Coleoptera), mladoletnice (Trichoptera) in dvokrilci (Diptera).



Slika 19: Deleži osebkov višjih taksonomskih skupin na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni ob treh različnih datumih vzorčenja

Vzorčno mesto P1:

Na vzorčenju 25. 8. 2009, so bile najbolj zastopane (35 %) postranice z ednim predstavnikom *Gammarus fossarum*. Sledile so mu enodnevnice s 23 % določenih osebkov in vodilnih rodov *Baetis*. Mladoletnice (predvsem rod *Hydropsyche*) so se pojavljale v enakem deležu (11 %) kot dvokrilci. Hrošči so predstavljali kar 9 % celotnega števila osebkov, med njimi smo našli larve taksona *Limnius* sp. in odrasle osebkove taksona *Elmis* sp.. Hroščem po številčnosti sledijo maloščetinci (*Stylodrilus* sp.), vrbnice (*Leuctra* sp.), polži (*Ancylus fluviatilis*) ter pijavke in stenice z enakim deležem. Število kačjih pastirjev in vodnih pršic predstavlja slab 1 % določenih osebkov.

Na jesenskem vzorčenju, 24. 11. 2009, se je delež vrste *Gammarus fossarum* povečal na 50 %. Zelo je naraslo število dvokrilcev z najštevilčnejšim rodov *Simulium*, saj so predstavljali kar četrtino (25 %) vseh določenih osebkov. Zaradi upada številčnosti drugih taksonov so bili, v jesenskem času, na tretjem mestu najštevilčnejših osebkov hrošči, ponovno z larvo iz rodu *Limnius*. Sledijo jim mladoletnice (6 %), mnogoščetinci (5 %) in enodnevnice (4 %). Delež drugih taksonov je manjši od 2 %.

Na vzorčenju 24. 8. 2010 smo nabrali največ predstavnikov vrste *Gammarus fossarum*, delež nabranih je predstavljal 35 % vseh določenih osebkov. Delež dvokrilcev, z najštevilčnejšim taksonom Chironominae, je bil 15 %. Nekoliko manj (13 %) je bilo maloščetincev (predvsem *Tubifex* sp. ), katerim se je število tekom vzorčenj poviševalo. Sledijo jim mladoletnice s predstavnico *Hydropsyche* sp.. Izredno se je povečal delež polžev (10 %), predvsem vrste *Viviparus viviparus*. Delež enodnevnice znaša 9 %, hroščev pa 4 %. Deleži drugih taksonov so manjši od 1 %.

Vrsta *Gammarus fossarum* je bila na mestu P1 navzoča v največjem številu, ne glede na datum vzorčenja. Taksoni kot so Diptera, Ephemeroptera, Trichoptera, Oligochaeta in Coleoptera so se izmenjevali glede na sezono. Številčnost taksona Ephemeroptera je bila v avgustovskih vzorčenjih večja kot v novembrskem, pri Diptera, pa je bilo ravno obratno. V nobenem vzorcu iz vzorčnega mesta P1 nismo našli predstavnikov taksona Isopoda.

Vzorčno mesto P2:

Na prvem poletnem vzorčenju, 25. 8. 2009, so imeli največji delež (82 %) maloščetinci, s prevladujočim rodом *Tubifex*. Sledili so mu dvokrilci (10 %) z osebki iz skupine Chironominae, vrste *Chironomus obtusidens*, *C. thummi*, *C. plumosus* in *Prodiamesa olivacea*. Pijavke so bile zastopane v 5 % s predstavnico *Hellobdela stagnalis*. Majhen delež (2 %) je pripadal tudi enodnevnici. Vodnih pršic, hroščev in polžev je bilo pod 1 %. Drugih taksonov nismo zasledili.

Na jesenskem vzorčenju, 24. 11. 2009, se je število taksona *Tubifex* povečalo na 87 %. Delež dvokrilcev se je prav tako povečal na 11 %. Delež pijavk in enodnevnice je upadel, zasledili pa smo manj kot 1 % mladoletnic (*Hydropsyche* sp.). Najdenih ni bilo 8 od 14 višjih taksonomskih skupin.

Na poletnem vzorčenju, 24. 8. 2010, je bil delež maloščetincev (71 %) najnižji v primerjavi s prejšnjima vzorčenjema. Na splošno je bilo število ulovljenih osebkov tega dne neverjetno majhno. Število enodnevnice je naraslo, z vodilnim rodом *Baetis*, so predstavljale 16 % določenih osebkov. Sledili so jim dvokrilci z 5 %, kjer pa nismo več zasledili osebkov rodu *Chironomus*, ki so značilne za izredno onesnažene vodotoke. Osebki mladoletnic (5 %) in pijavk (3 %) so bili zastopani v manjši meri.



Na vzorčnem mestu P2 je na vseh vzorčenjih prevladoval takson Oligochaeta. Manj je bilo osebkov rodu Diptera z značilnimi predstavniki (rod *Chironomus*) organsko onesnaženih voda. Taksonu Diptera po deležu sledijo taksoni Ephemeroptera, Hirudinea, Trichoptera in Coleoptera. Na prvem poletnem vzorčenju smo določili manj kot 1 % taksona Bivalvia, kasneje pa jih nismo več našli. Poleg taksona Coleoptera in Hydracarina, se je delež taksona Trichoptera tekom naših vzorčenj naglo višal. Nikoli nismo nabrali osebkov taksonov Amphipoda, Isopoda, Plecoptera, Odonata in Heteroptera.

Vzorčno mesto P3:

Na prvem poletnem vzorčenju, 25. 8. 2009, smo našli največ predstavnikov dvokrilcev, kar 30 %, s prevladujočim taksonom Orthocladinae. V 29 % so bili zastopani maloščetinci z zelo številčnim rodом *Tubifex*. Kot tretja najštevilčnejša skupina so bile enodnevnice z 20 % in vodilnim rodом *Baetis*. Takoj za njim so ji sledile pijavke, predvsem vrsta *Hellobdela stagnalis*. Drugi taksoni so bili zastopani v manj kot 0,5 %.

Na jesenskem vzorčenju, 24. 11. 2009, se je delež maloščetincev izredno povečal, in sicer na 70 %. Na osnovi povečanja številčnosti taksona Oligochaeta, se je zmanjšalo število dvokrilcev na 21 % z vodilnim predstavnikom *Simulium* sp. Prav tako se je zmanjšalo število drugih taksonov (Hirudinea 4 % in Ephemeroptera 4 %), najdenih pa ni bilo 6 od 14 višjih taksonomskih skupin.

Na zadnjem vzorčenju, 24. 8. 2010, so prevladovali maloščetinci z 59 % določenih osebkov. Drugo mesto so zasedle enodnevnice s 15 % in najštevilčnejšim rodом *Baetis*. Velik delež so imele tudi mladoletnice (10 %) s prevladujočo predstavnico *Hydropsyche* sp.. Šele na četrtem mestu so dvokrilci. Drugi osebki posameznih višjih taksonomskih skupin so bili zastopani z manj kot 10%.

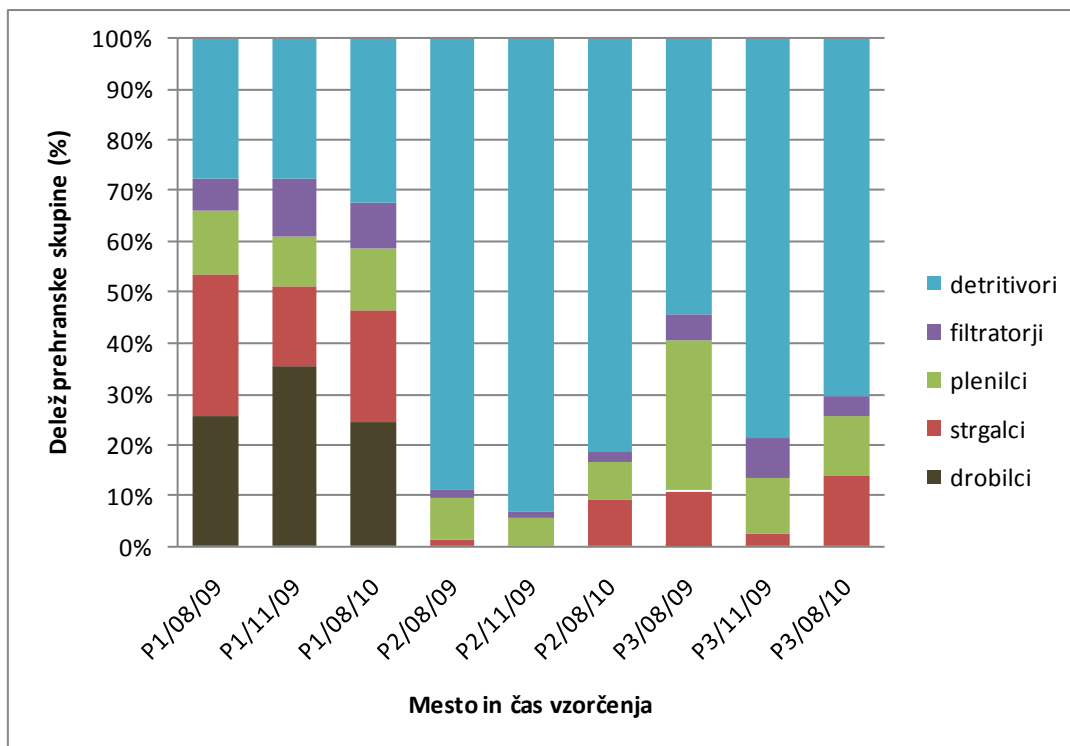
Na vseh vzorčenjih je prevladoval rod *Tubifex*. Manj je bilo osebkov skupine Diptera s prevladujočima taksonoma *Simulium* sp. in Orthocladinae. Tretje mesto v številčnosti sta si izmenjavala taksona Hirudinea in Ephemeroptera. Najmanj taksonov smo našli na jesenskem, največ pa na zadnjem vzorčenju. V nobenem vzorcu nismo zasledili osebkov iz skupin Plecoptera in Heteroptera. Najbolj nas je presenetil porast v številu taksona

Trichoptera na zadnjem vzorčenju. Delež ostalih taksonov, Coleoptera, Odonata, Hydracarina, Isopoda, Amhipoda, Bivalvia ter Gastropoda, je bil vedno pod 2 %.

Iz grafov razberemo, da je bilo na mestih P2 in P3 najdenih največ osebkov taksona Oligochaeta (predvsem *Tubifex* sp.), medtem ko je delež na mestu P1 nizek. Prav tako smo v vseh vzorcih našli osebkke taksona Diptera, ki je bil prisoten z 5 – 30 % deležem pojavljanja. Na vzorčnem mestu P1 je bila prevladujoča vrsta *Gammarus fossarum*, ki je bila prisotna tudi v majhnem deležu v P3. Delež taksona Ephemeroptera (predvsem *Baetis* sp.) je v jesenskem času na vseh vzorčnih mestih nižji kot v primerjavi z drugimi sezonskimi merjenji. Delež taksona Hirudinea (predvsem *Hellobdella stagnalis* in *Erpobdella* sp.) je, razen na prvem merjenju na P3, vedno nihalo med 2 % do 4 %. Na vseh vzorčnih mestih je na zadnjem poletnem merjenju (24. 8. 2010), porast v številu predstavnikov taksona Trichoptera (v večini *Hydropsyche* sp.). Predvsem je velika sprememba na mestu P3. Število osebkov taksona Coleoptera (predvsem *Limnius* sp.) je na mestih P2 in P3 pod 2 %, medtem ko na mestu P1 niha med 4 % in 8 %. Kot smo že omenili, je število taksona Gastropoda (*Viviparus viviparus*) pri merjenju 24. 8. 2010 na P1 narastlo, pod 1 % pa je ostalo pri drugih vzorčnih merjenjih. Vrsto *Pisidium* sp. (Bivalvia) smo zasledili le na prvem poletnem merjenju na mestu P3 ter na zadnjem poletnem merjenju na P1. *Asellus aquaticus* (Isopoda) smo našli samo na mestu P3 in sicer 25. 8. 2009 in 24. 8. 2010. Pri vseh vzorčenjih smo našli takson Hydracarina <2 %. Vrsto *Leuctra* sp. smo našli le na vzorčnem mestu P1 v vseh obdobjih vzorčenja. Predstavnice taksona Heteroptera so bile zastopane z 1 % le na mestu P1. Taksona Odonata nismo zasledili na mestu P2, drugje so pa bile vrednosti <1 %.

### 4.3.3 Sestava prehranskih skupin makroinvertebratov

Razen v enem vzorcu, so v vseh prevladovali detritivori, sledili so jim plenilci, strgalci, drobilci in kot zadnji filtratorji.



Slika 20: Deleži prehranskih skupin na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni ob treh različnih datumih vzorčenja

Zastopanost prehranskih skupin na vzorčnem mestu P1 je bila najpestrejša. V prvem poletnem vzorčenju, 25. 8. 2009, sta bili prehranski skupini strgalcev in detritivorov skoraj izenačeni. Zastopanost prvih je bila 28 %, drugih pa 26 %. Sledijo jima drobilci (25 %), plenilci v nekoliko manjši zastopanosti (12 %) in filtratorji. Na drugem vzorčenju je naraslo število drobilcev na 35 %, sledijo detritivori (28 %), strgalci ter ponovno plenilci in filtratorji. Delež detritivorov je narastel na tretjem vzorčenju, sledijo mu drobilci in strgalci.

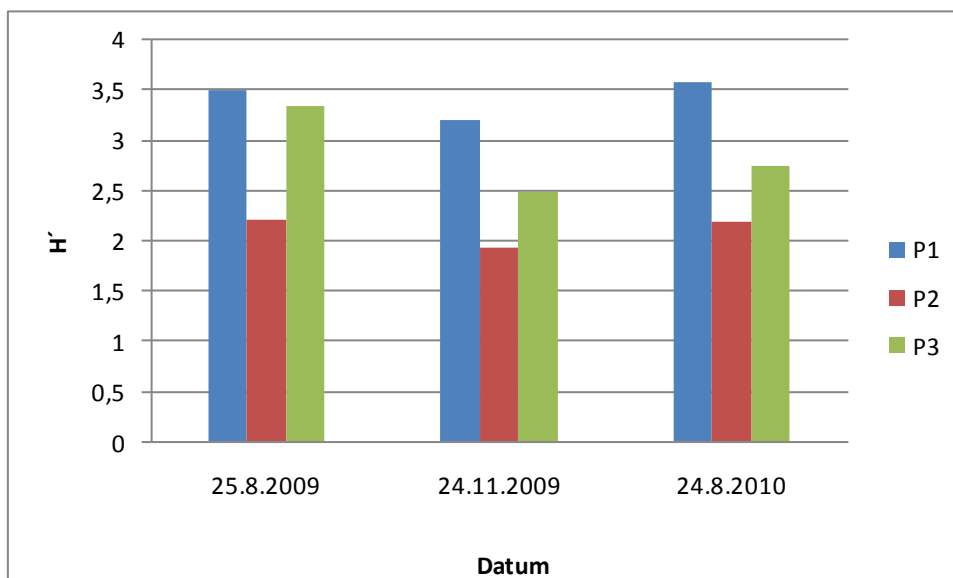
Na vzorčnem mestu P2 smo v vseh vzorčenjih določili največ detritivorov, ki so tu izrazito prevladovali. Njihova zastopanost je nihala med 70 % in 93 %. V prvem poletnem in jesenskem vzorčenju so jim sledili plenilci, v drugem poletnem pa strgalci. Delež

filtratorjev je bil okoli 2 %, medtem ko je delež strgalcev izredno nihal. Skupina drobilcev je bila najmanj zastopana, jeseni je nismo zasledili.

Na vzorčnem mestu P3 smo, ne glede na sezono, določili največ detritivorov. Delež teh je bil v jesenskem vzorčenju kar 78 %. Detritivorom so v prvem poletnem in jesenskem vzorčenju sledili plenilci, v zadnjem poletnem pa strgalci. Število le-teh je v jesenskem času upadlo, naraslo pa je število filtratorjev. V vseh vzorčenjih je bilo najmanj drobilcev, vedno pod 1 %.

Na vzorčnih mestih P2 in P3 je največ osebkov pripadalo prehranski skupini detritivorov, ki je imela največji delež na P2. Teh je bilo veliko manj na prvem mestu (28 - 32 %), predvsem zaradi višjih deležev drugih prehranskih skupin. Plenilci so se v podobnih deležih pojavljali na vseh vzorčnih mestih s tem, da so bili druga najštevilčnejša prehranska skupina na mestih P2 in P3. Število osebkov te prehranjevalne skupine je bilo višje v poletnem času vzorčenja. Največ strgalcev je bilo na vzorčnem mestu P1. Njihovo število se je zmanjšalo v jesenskem času. Kot predzadnja prehranjevalna skupina so bili drobilci. Ti so zastopani v večjem številu le na vzorčnem mestu P1, drugod pod 1 %. V vzorcih je bilo najmanj osebkov iz skupine filtratorjev. Zastopanost je bila pod 10 % na vseh vzorčnih mestih.

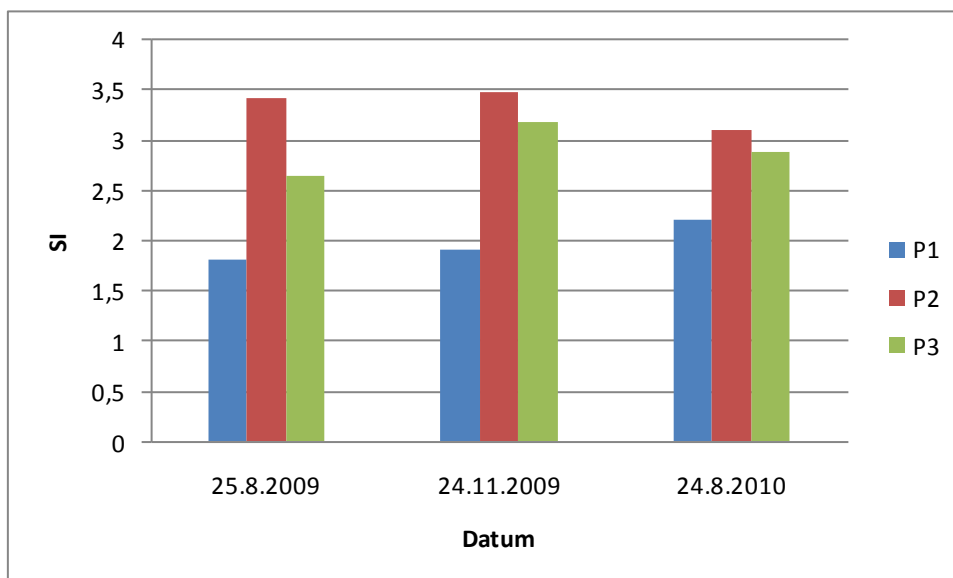
#### 4.3.4 Shannon-Wienerjev diverzitetni indeks



**Slika 21:** Vrednosti Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni ob treh različnih datumih vzorčenja

Najvišjo vrednost Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa smo izračunali na vzorčnem mestu P1, 24. 8. 2010 je vrednost znašala 3,6, 25. 8. 2009 pa 3,5. Najnižja vrednost je bila ob vseh treh vzorčenjih na mestu P2, najnižja je bila 24. 11. 2009 ko je znašala 1,9. Na vzorčnem mestu P1 je vrstna diverziteta združbe makroinvertebratov razmeroma visoka, saj je bila vrednost indeksa vedno nad 3,2. Glede na preglednico 3, o kakovosti vodnega okolja, ta odsek lahko uvrstimo med neobremenjene vodotoke. Žal ima mesto P2 glede na drugi dve vzorčni mesti najnižjo biotsko pestrost, ki niha med 1,9 in 2,2 (srednje oziroma malo obremenjena voda). Vzorčno mesto P3 je po vrednostih med P1 in P2, kar ni v skladu z našimi pričakovanji, glede na kakovost okolja na teh odsekih. Vrednosti Shannon-Wienerjevega indeksa so med 2,5 in 3,3 (malo do neobremenjena voda). Pričakovali smo, da se bo diverziteta po strugi navzdol zmanjševala, ampak naši rezultati tega ne kažejo. Na vzorčnem mestu P2 je prisoten alohton dejavnik, ki zmanjšuje biotsko pestrost v vodotoku.

#### 4.3.5 Saprobní indeks



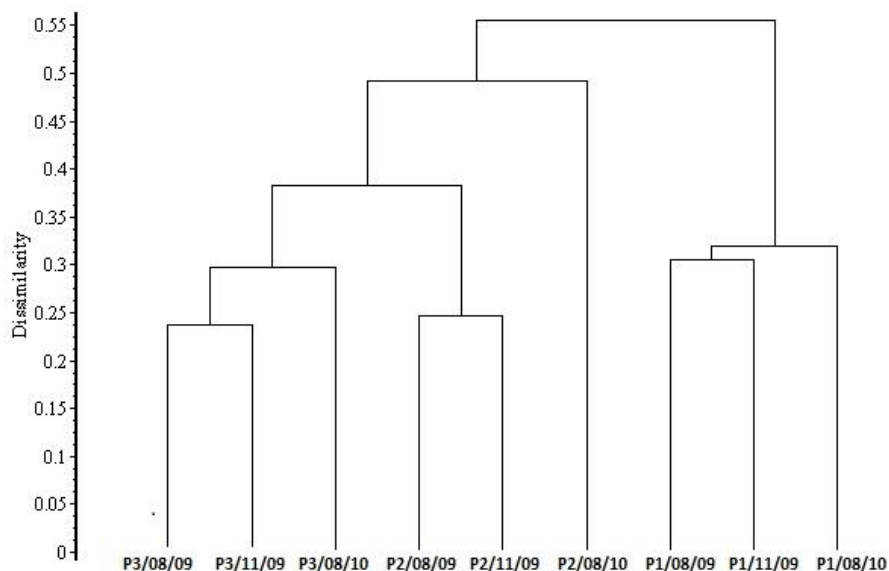
**Slika 22:** Vrednosti saprobnega indeksa na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni ob treh različnih datumih vzorčenja

Glede na rezultate z mesta P1, lahko zgornji tok reke Voglajne uvrstimo v 2. kakovostni razred, glede na mestu P3 v 3. razred, glede na mesto P2 pa med 3. in 4. kakovostni razred. Najnižje vrednosti smo izračunali, ne glede na čas vzorčenja, na vzorčnem mestu P1 (zgornji tok Voglajne). Gibale so se med 1,8 in 2,2, kar uvršča ta del struge v 2. kakovostni razred. Vrednosti saprobnega indeksa so se tekom vzorčenj povečevale.

Na vzorčnem mestu P2 so se vrednosti gibale med 3,1 in 3,5. Glede na izračunane vrednosti uvrščamo ta odsek reke Voglajne med 3. in 4. kakovostni razred.

Zanimivo je, da so bile vrednosti po toku navzdol, na mestu P3, nižje. Tam so se vrednosti gibale med 2,6 in 3,2, kar uvršča ta del reke Voglajne v 3. kakovostni razred. Na poletnem vzorčenju, 24. 8. 2010, so vrednosti saprobnega indeksa na vzorčnih mestih P2 in P3 nižje v primerjavi s prejšnjimi izračuni. Vrednosti saprobnega indeksa so bile, razen na mestu P1, najvišje v jesenskem času.

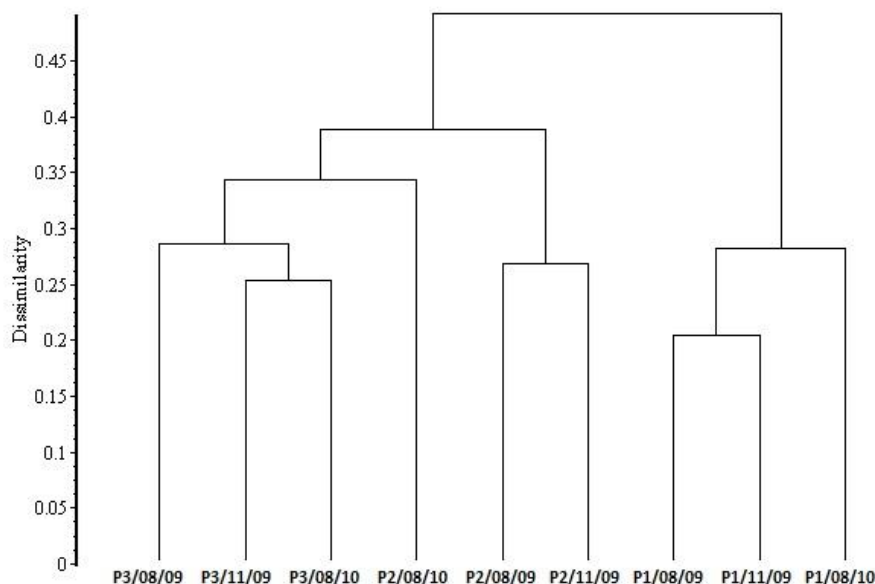
#### 4.3.6 Bray – Curtisov indeks



**Slika 23:** Dendrogram podobnosti devetih vzorcev nevretenčarjev, nabranih na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni ob treh različnih datumih vzorčenja. Uporabili smo Bray – Curtisov indeks podobnosti

Iz dendrograma je razvidno, da so si vzorci nabrani na istih vzorčnih mestih ne glede na čas, bolj podobni kot pa vzorci nabrani v enakem času na različnih vzorčnih mestih. Najbolj so si med seboj podobni vzorci združbe makroinvertebratov iz vzorčnega mesta P3 (25. 8. 2009 in 24. 11. 2009). Podobno velja za vzorčno mesto P1. Ti vzorci so tudi precej različni od vzorcev s spodnjih dveh vzorčnih mest. Vzorci nabrani na mestu P2 so si med seboj najbolj različni, saj sta vzorca nabrana 25. 8. 2009 in 24. 11. 2009 bolj podobna vzorcem z mesta P3 kot vzorec, ki je bil nabran 24. 8. 2010. Presenetljivo je, da vzorec združbe nevretenčarjev, odvzet iz vzorčnega mesta P2 dne 24. 8. 2010, signifikantno odstopa in je tako bolj podoben vzorcem z mesta P1, ki je na manj obremenjenem delu reke. Zanimivi sta odstopanji zadnjega vzorčenja na P2 in P3, saj sta vzorca v klastru bližje vzorčnim mestom P1 kot ostala dva vzorca s P2 in P3. Odmik bi lahko bil posledica zagona centralne čistilne naprave Šentjur.

### 4.3.7 Sørensenov indeks podobnosti



**Slika 24:** Dendrogram različnosti devetih vzorcev nevretenčarjev, nabranih na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni ob treh različnih datumih vzorčenja. Uporabili smo Sørensenov indeks

Iz dendrograma je razvidno, da je bila podobnost vzorcev združbe makroinvertebratov, nabranih predvsem na vzorčnih mestih P1 in P3 ob različnem času večja, kot podobnost vzorcev nabranih iz različnih vzorčnih mestih ob enakem času. Vidimo tudi, da smo na vzorčnih mestih P3 in P2 našli več kot 60 % enakih (skupnih) taksonov. Dendrogram je precej podoben prejšnjemu, ki smo ga dobili z uporabo Bray- Curtisovega indeksa s tem, da so si med seboj najbolj podobni vzorci odvzeti iz vzorčnega mesta P1. Ponovno izstopajo vzorci iz vzorčnega mesta P2 od dne 24. 8. 2010, ki pa v tem primeru kaže večjo podobnost vzorcem z mesta P3.



#### 4.3.8 Kanonična korespondenčna analiza (CCA)

**Preglednica 7: Spremenljivke okolja**

Številka	Spremenljivka
1	Temperatura vode (°C)
2	pH
3	Nasičenost vode s kisikom (%)
4	Koncentracija nitratnih ionov (mg/L)
5	Elektroprevodnost (µS/cm)
6	Večji odmrli organski delci (CPOM) (% površine)
7	Ksilal (% površine)
8	Koncentracija raztopljenega kisika (mg/L)
9	Emergentni makrofiti (% površine)
10	Mezolital (% površine)
11	Akal (% površine)
12	Mikrolital (% površine)
13	Drobni odmrli organski delci (FPOM) (% površine)
14	Psamal (% površine)
15	Makrolital (% površine)
16	Nitaste alge (% površine)
17	Skupne suspendirane snovi (mg/L)
18	Živi deli kopenskih rastlin (% površine)

V analizo okolja smo vključili 18 okoljskih spremenljivk (pregl. 7), v matriko taksonov pa 82 taksonov.

Z metodo izbiranja smo iz matrike okolja izbrali 8 spremenljivk. Le tri od teh pa statistično značilno ( $P < 0,1$ ) pojasnjujejo varianco matrike taksonov oziroma variabilnost makroinvertebratske združbe. To so temperatura, pH in nasičenost s kisikom. V nadaljevanju smo ponovno z metodo izbiranja (med T, pH in nasičenostjo s kisikom) ugotovili, da ima največji vpliv na variabilnost pH. Z izbranimi spremenljivkami smo pojasnili kar 71,32 % variabilnosti združbe.

**Preglednica 8: Izbrane spremenljivke okolja, njihova statistična značilnost (P), pojasnjena varianca matrike taksonov z izbranimi spremenljivkami okolja ter kumulativna varianca**

FS- izbira	Spremenljivka	P	Pojasnjena varianca (%)	Kumulativna varianca (%)
1	pH	0,001	30,6	30,6
2	Temperatura	0,025	29,0	59,6
3	Nasičenost vode s kisikom	0,065	11,8	71,3

## 5 RAZPRAVA IN SKLEPI

### 5.1 RAZPRAVA

Okoljske spremembe vplivajo na abiotične dejavnike v vodnem okolju, ki povzročajo spremembe v združbi vodnih organizmov. Okolja, v katerem živijo vodni organizmi, ne moremo preprosto opisati kot seštevka vseh fizikalnih in kemijskih parametrov. Zelo pomembni so tudi medsebojni odnosi organizmov (Toman in Steinman, 1995).

**Hitrost vodnega toka** je najpomembnejši dejavnik tekočih voda, odvisen od struge, globine in substrata (Matoničkin in Pavletić, 1972). Naša vzorčna mesta se zelo razlikujejo glede na hitrost vodnega toka. Zaradi razgibanosti odseka in substrata na mestu P2, je bilo težko izmeriti reprezentativno hitrost toka. Rezultat je le okviren, saj polovico struge zavzema nasip, prisotna sta dva globoka tolmana in brzice z majhno globino. Na vzorčnih mestih P1 in P3 je meritev povprečne hitrosti vodnega toka bolj merodajna. Od hitrosti vodnega toka so odvisni distribucija hrane, dotok kisika, struktura substrata in vedenje organizmov (Giller in Malmqvist, 1998).

Vodni tok oblikuje **substrat** rek. Anorganski material je navadno erodiran iz gornjega toka reke in se na poti proti spodnjemu toku, zaradi delovanja reke, oblikovno spreminja (Giller in Malmqvist, 1998). V zgornjem delu rek, kjer je hitrost vodnega toka večja, se pojavljajo večji kamni. Po toku navzdol se na dnu struge nahajajo vse manjši kamni, vse večji je delež proda, peska in mulja. Ker nismo jemali vzorcev blizu izvira ter izliva oziroma na velikih razdaljah, je bil anorganski substrat ne glede na vzorčno mesto razmeroma podoben. Na vseh vzorčnih mestih je bil v večjem deležu prisoten mezolital ali mikrolital. Ob robovih struge je bil značilen psamal. Anorganski substrat se na nobenem vzorčnem mestu tekom vzorčenja ni drastično spremenil. Organski substrat ima večjo spremenljivost, saj lahko vsebuje vse od finih organskih delcev in listja do podrtega drevja in vodnih rastlin. Na mestu P1 je 20 % površine anorganskega substrata pokrival klasasti rmanec (*Myriophyllum spicatum*). Giller in Malmqvist (1998) navajata, da je vrstna pestrost na enakem območju lahko kar 15 krat večja zaradi prisotnosti mahov. Na vzorčnem mestu P2 ni bilo organskega substrata. Mogoče je bila prav zaradi tega, tukaj diverziteta najnižja.

Dno struge so na mestu P3 prekrivale nitaste zelene alge. Višje od našega mesta vzorčenja je uspeval potopljeni makrofit, kodravi dristavec (*Potamogeton crispus*). Ker makrofiti zagotavljajo zatočišče pred plenilci in močnim tokom, mesto pritrjanja, med listi se ujamejo tudi majhni organski delci, ki so hrana (Giller in Malmqvist, 1998), je vrstna pestrost makroinvertebratov na mestih z organskim substratom večja.

**Temperatura vode** vpliva na fizikalne, kemijske in biotske procese v tekočih vodah. Ob zviševanju temperature se topnost nekaterih plinov zmanjša, pospešijo se kemijski procesi in izhlapevanje. Izrednega pomena je za življenje velikih vodnih nevretenčarjev (Matoničkin in Pavletić, 1972). Vpliva na dihanje, prebavo, stopnjo rasti, produktivnost, dolžino življenjskega cikla, hitrost razvoja jajčec, hitrost rasti ličink, čas preobrazbe, velikost odraslih osebkov in parjenje makroinvertebratov. Posledično temperaturni režim vpliva na razporeditev in število prisotnih taksonov makroinvertebratov v vodotoku (Giller in Malmqvist, 1998). Na temperaturo vode v Voglajni so imele vpliv sezonske spremembe. Tako so visoke temperature vode v avgustu 2009 in 2010 odraz visokih temperatur zraka in večjega deleža sončnih dni od povprečja. Temperatura vode je bila avgusta leta 2010 za 3 °C višja kot 2009 na vseh vzorčnih mestih. Temperatura okolja je med 23 in 27 avgustom leta 2010 kazala največje pozitivne odklone povprečne dnevne temperature od dolgoletnega povprečja (Cegnar in sod., 2010). Posledično se je povišala tudi temperatura vodotokov. Na vzorčnem mestu P1 so bile poleti, v letu 2009 in 2010, nižje temperature vode kot na P2 in P3. Vzrok je v dobri obraščenosti bregov z obrežno vegetacijo. Kot navajata Giller in Malmqvist (1998), senčenje zmanjšuje visoke poletne temperature in krajša čas trajanja najvišjih dnevni temperatur. Najnižja temperatura je bila izmerjena meseca novembra (7,4 °C), kar je posledica manjšega sončnega obsevanja in nizkih okoljskih temperatur. Na mestu P2 je bila poleti 2010 izmerjena najvišja temperatura (21,8 °C). Vzroki so odsotnost obrežne vegetacije, popoldanski čas merjenja in visoke poletne okoljske temperature. Napaka pri našem vzorčenju je bila, da smo na vzorčnih mestih vzorčili ob različnih delih dneva. Temperatura vode narašča tekom dneva in je najvišja popoldne. Da bi bili podatki natančnejši, bi morali narediti fizikalne in kemijske meritve na vseh vzorčnih mestih s čim manjšim medsebojnim časovnim zamikom.

**Koncentracija kisika** je odvisna od fizikalnih, kemijskih in bioloških procesov v vodi. Ugotovili smo, da je bila preskrbljenost reke Voglajne s kisikom dokaj slaba. Koncentracije kisika so nihale med 4,4 mg/L in 9,1 mg/L, nasičenost vode s kisikom je bila med 45 % in 84 %. Najvišja izmerjena vrednost je bila jeseni na vzorčnem mestu P1. Vodotok je bil dovolj osvetljen, obrežna vegetacija je odmrla oziroma prešla v fazo mirovanja, temperatura vode je bila nizka in dno potoka je pokrival klasasti rmanec (*Myriophyllum spicatum*). Na drugih dveh vzorčnih mestih ni bilo oziroma je bilo malo makrofitov, tok vode je bil počasnejši, kar so lahko vzroki za zmanjšanje koncentracije kisika in nasičenosti vode s kisikom. Najnižjo vrednost smo zabeležili avgusta 2009 na mestu P3, zaradi dokaj visokih temperatur vode, zgodnjega časa merjenja in nizkega vodostaja. Vzrok za višjo koncentracijo kisika in nasičenosti vode s kisikom avgusta 2010 na vzorčnem mestu P2, je v popoldanskem času merjenja. Koncentracija kisika pade čez noč, saj poteka le proces respiracije, zviša se količina ogljikovega dioksida (Giller in Malmqvist, 1998). Nato se ob sončnem sevanju povečuje količina biogenega kisika zaradi fotosinteze primarnih producentov. Ker proces poteka ves dan ob prisotnosti svetlobe, so koncentracije kisika najvišje ob koncu dneva. Tekom noči se zaloge raztopljenega kisika v vodi zmanjšajo. Za razumevanje pridobljenih vrednosti o koncentraciji kisika in nasičenosti vode s kisikom je zelo pomembno upoštevati čas merjenja in temperaturo. Če primerjamo vrednosti obravnavanih parametrov avgusta 2009 in 2010 ugotovimo, da so vrednosti zadnje leto višje. Leta 2010 se je na centralno čistilno napravo Šentjur priključil največji onesnaževalec (Klavnica Šentjur) reke Voglajne z organsko obremenjeno odpadno vodo, ki je v vodotok vnašala veliko koncentracijo organskih snovi. V preteklosti je bil to velik problem, sploh v času visokih temperatur in nizkega vodostaja. Po juliju 2010 se vsa odpadna voda iz Klavnice Šentjur predhodno obdela v čistilni napravi Šentjur in se nato prečiščena spusti v recipient. Splošno so vrednosti koncentracije kisika in nasičenosti vode s kisikom v jesenskem času merjenja višje, kar je posledica predvsem nižjih temperatur vode, torej hitrejšega raztapljanja kisika v vodnem mediju ter manjše senčnosti. Spremembe v koncentraciji kisika, so prisilile vodne nevretenčarje, da so se prilagodili glede na razpoložljivo količino O<sub>2</sub> (Matoničkin in Pavletić, 1972). Posamezne vrste makroinvertebratov se med seboj močno razlikujejo v zahtevi po kisiku, kar povzroča razlike v razporeditvi vrst (Giller in Malmqvist, 1998).

**Elektroprevodnost** je odvisna od temperature raztopine, koncentracije ionov v raztopini in njihovih značilnosti ter padavin, ki razredčijo raztopino. Elektroprevodnost v reki Voglajni je bila med 380  $\mu\text{S}/\text{cm}$  in 570  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Opaziti je rahlo povečanje v jesenskem času, ko prihaja do intenzivne razgradnje odpadlega listja, izgradnja pa je zaradi nizkih temperatur in nizke intenzitete svetlobe relativno nizka (Urbanič in Toman, 2003). Najnižje vrednosti smo izmerili na vzorčnem mestu P1, kjer je vodno telo najmanj obremenjeno s hranili. Zaradi bližine večjih naselij, dotoka komunalnih in industrijskih odpadnih voda, se elektroprevodnost dovedno povečuje. Povečanje onesnaževanje vodotoka je tudi posledica spiranja kmetijskih površin. Na mestu P2 je povečana koncentracija ionov, zaradi direktnega vnosa komunalne odpadne vode nekaj metrov nad vzorčnim mestom.

Pod **skupne suspendirane snovi** štejemo anorganske in organske delce. Velike količine prvih posredno in neposredno negativno delujejo na organizme, saj prihaja do trenja med delci in organizmi, poveča se kalnost voda in usedanje, zmanjša se primarna produkcija in izraba hranil. Organske suspendirane snovi predstavljajo vir hrane za heterotrofne organizme, poveča se respiratorna aktivnost, zato se zmanjša koncentracija raztopljenega kisika (Urbanič in Toman, 2003). Količina suspendiranih snovi v vodotoku Voglajna je bila nizka. Če izvzamemo podatek iz mesta P2 (25. 8. 2009), so bile vrednosti pod 10 mg/L. Izmerjene vrednosti na prvem poletnem vzorčenju so bile na vseh treh vzorčnih mestih višje od kasnejših merjenj. Ne glede na čas vzorčenja, je imelo vzorčno mesto P2 vedno višjo koncentracijo suspendiranih snovi kot drugi dve mesti. Vzrok za izstopajoče koncentracije suspendiranih snovi na mestu P2, je najverjetneje bližina izpusta odpadne komunalne vode v vodotok.

V neonesnaženih vodah je **pH** pretežno odvisen od ravnotežja med  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$  in  $\text{CO}_3^{2-}$  ter drugih naravnih spojin, kot so huminske in fulvo kisline. V največji meri je dnevno nihanje rezultat fotosintetske aktivnosti, respiracije primarnih producentov (Urbanič in Toman, 2003) in toka vode po površinskih plasteh pedosfere, kjer potekajo intenzivni biokemijski procesi, pri katerih nastajajo velike količine ogljikovega dioksida (Matoničkin in Pavletić, 1972). Naši podatki so v mejah normale, ki so značilne za tekoče vode. Ker teče reka Voglajna po karbonatni podlagi, je njen pH rahlo bazičen. Vrednosti so nihale med 7,7 in 8,2 ter so si bile glede na vzorčno mesto v istem dnevu vzorčenja podobne,

odstopanja so bila le za 0,1. Vrednost pH narašča s povečano aktivnostjo primarnih producentov, ki za fotosintezo porabljajo ogljikov dioksid. Zaradi zmanjševanja v vodi raztopljenega CO<sub>2</sub>, se vrednosti pH povečujejo.

**Nitratni ioni** so v vodnih telesih pogosti, zaradi spiranja s površin, odmiranja rastlin in živali ter vulkanskih kamnin. Nastajajo tudi kot končni produkti aerobne razgradnje organskih dušikovih spojin. Koncentracija nitratov v vodotoku načeloma ne presega vrednosti 1 mg/L. Če zasledimo višje koncentracije, so to posledica spiranja kmetijskih površin, izpustov odpadnih voda in voda iz čistilnih naprav. V reki Vogljajni so se vrednosti nitratov gibale med 1,7 mg/L in 4,6 mg/L, kar nakazuje na obremenjevanje s hranili. Koncentracija nitratnega iona se spreminja dnevno in sezonsko, saj ga fotoavtotrofni organizmi asimilirajo in vgrajujejo v lastne celične proteine (Urbanič in Toman, 2003). V splošnem so bile najvišje koncentracije nitratnih ionov jeseni, zaradi zmanjšane aktivnosti primarnih producentov v vodotoku, intenzivnejšega gnojenja kmetijskih površin in večjega spiranja s precipitacijo. Povzamemo lahko, da toliko nitrata kot je vstopilo v sistem toliko se ga je v vodi ohranilo. Najnižje vrednosti so bile poleti, kar je povezano z aktivnostjo primarnih producentov, ki porabijo nitrat. Povprečna koncentracija nitratov na vzorčnem mestu P3 je 2,9 mg/L. Če k temu dodamo, da je bilo v vodotoku veliko nitastih alg, ki so del nitratov porabile, ugotovimo, da bi bile realne vrednosti nitratov brez primarnih producentov še višje, kar pa nakazuje na močno obremenjenost vodotoka s hranili. Pri tem moramo upoštevati tudi izpust prečiščene odpadne vode iz čistilne naprave Šentjur, ki se nahaja 500 m pred vzorčnim mestom. Na vzorčnem mestu P2, je bila povprečna koncentracija nitratov v vodi 2,8 mg/L. Vrednost je nizka v primerjavi z vrednostjo na mestu P3, kjer so bili prisotni primarni producenti. Zanimivo je, da je bila na mestu P1 najvišja koncentracija nitratov. Ker je bilo, zaradi osenčenosti, na dnu struge malo makrofitov in drugih primarnih producentov, ki bi porabili nitrat, je le- ta ostajal v sistemu. Poleg tega dobi potok dodatno količino nitratov iz jezera. Povišane koncentracije hranil povzročajo spremembe združb v vodnem telesu. Poveča se rast primarnih producentov, katerih velika odmrta biomasa povzroči intenzivnejšo razgradnjo. Zaradi povečane razgradnje v vodnem telesu začne primanjkovati kisika, kar povzroči pogin občutljivejših vrst.

Naravna vira fosforja v vodnih telesih sta preperevanje kamnin in razgrajene organske snovi. V vodah so koncentracije **ortofosfatnih ionov** nizke, predvsem zaradi aktivnega privzemanja primarnih producentov. V reki Vogljajni smo izmerili najvišjo vrednost 0,18 mg/L na mestu P2, in sicer jeseni. Vrednost nakazuje na onesnaženje vodotoka zaradi spiranja s kmetijskih površin, saj so vrednosti neonesnaženih voda do 0,1 mg/L. Veliko je tudi fosfata v odpadni komunalni vodi, ki se izliva nekaj metrov pred vzorčnim mestom P2. Na vzorčnem mestu P3 smo zasledili naraščanje koncentracije fosfatov med vzorčenjem, kar je lahko posledica iztoka odpadne vode iz čistilne naprave Šentjur. Obraten proces zasledimo na vzorčnem mestu P1.

Poudarjamo, da so izmerjene vrednosti fizikalnih in kemijskih parametrov vodotoka enkratni podatek, zato so dobljeni rezultati odraz trenutnega stanja.

Tekoče vode nudijo bivališče številnim vrstam od velikosti virusov in bakterij do večjih vretenčarjev (Giller in Malmqvist, 1998). Pri ekoloških ocenah ekosistemov, oziroma vrednotenju kakovosti voda najpogosteje uporabljamo makroinvertebrate. Ti odražajo celotne ekološke razmere posameznega vzorčnega mesta, vključno s fizikalnimi lastnostmi, ter niso le odraz organskega obremenjevanja temveč tudi različnih stresov, kot so anorgansko onesnaževanje, toksičnosti, kislost in zmanjšanje količine vode (Urbanič in Toman, 2003).

**Analiza sestave združbe makroinvertebratov** je pokazala, da je le-ta odvisna od vzorčnega mesta in ne časa vzorčenja. Skupno smo ulovili okoli 16000 osebkov. Največ osebkov smo vedno nabrali na vzorčnem mestu P3, in sicer med 2200 in 3044. Po številu osebkov sledi vzorčno mesto P2, kjer smo našli okoli 2500 osebkov, razen na zadnjem vzorčenju. Na vzorčnem mestu P1 smo ulovili od 850 do 950 osebkov. Razlog za drastičen upad števila osebkov na zadnjem vzorčenju na mestu P2 ni znan, oziroma mogoče razložljiv z mnenjem Rejca (1988) o značilnostih voda 4. kakovostnega razreda. Na tem vzorčnem mestu smo namreč opazili temnosivo oziroma črnkasto vrhnjo plast usedlin. Rejca (1988) navaja, da nad usedlinami lahko v anaerobnih razmerah nastajata vodikov sulfid in metan. Slednji odhaja v ozračje, medtem ko se prvi veže z železovimi ioni v

železov sulfid. Prav zaradi izpadanja železovega sulfida je vrhnji del usedlin temen. Nekateri tolerantni makroinvertebrati, kot so trzače in maloščetinci, so le tam, kjer imajo dostop do vodne plasti z nekoliko raztopljenega kisika. Ker je takih mest malo, je posledično manj tudi tovrstnih osebkov.

Določili smo 83 taksonov velikih vodnih nevretenčarjev, ki smo jih razdelili v sledečih 14 višjih taksonomskih skupin: polži (Gastropoda), školjke (Bivalvia), maloščetinci (Oligochaeta), pijavke (Hirudinea), postranice (Amphipoda), enakonožci (Isopoda), vodne pršice (Hydracarina), enodnevnice (Ephemeroptera), vrbnice (Plecoptera), kačji pastirji (Odonata), stenice (Heteroptera), hrošči (Coleoptera), mladoletnice (Trichoptera) in dvokrilci (Diptera). Po pričakovanjih je bilo največ taksonov najdenih na vzorčnem mestu P1, ki je v zgornjem toku reke, ima dovolj obrasti, pester organski in anorganski substrat. Število taksonov je bilo med 43 in 46. Sledi vzorčno mesto P3, ki je imelo okoli 30 taksonov. Kljub temu, da je to mesto v spodnjem toku reke, ima zaradi posrednega vnosa odpadnih organskih voda, večjo pestrost. Okoli 23 taksonov smo našli na vzorčnem mestu P2, ki velja za najbolj obremenjeno mesto.

Vzorčno mesto P1 je najbolj pestro glede združbe bentoških nevretenčarjev in prehranskih skupin. Prevladoval je takson Amphipoda s predstavnikom *Gammarus fossarum*. Po načinu prehranjevanja je v največji meri drobilec, v določenih razmerah je tudi strgalec in detritivor. Drobilci se prehranjujejo z večjimi odmrliimi organskimi delci (CPOM), ki jih je bilo tukaj dovolj zaradi bližine gozda, obrežne vegetacije in vodnih makrofitov (*Myriophyllum spicatum*). Bick (1964) navaja, da je postranica izbirčna pri prehranjevanju. Najraje se hrani z listjem lip, lesk, jelše, manj z listi bukev, ne mara pa listov hrasta in bora. Zadržuje se na mestih, kjer je stabilen substrat (Giller in Malmqvist, 1988), dobra preskrba vodotoka s kisikom, malo organskega obremenjevanja in več vodnega rastlinja. Delež drobilcev je bil najvišji jeseni, predvsem zaradi povečane količine odmrlega organskega materiala. Glede na vsa vzorčenja taksonu Amphipoda po številu osebkov sledi takson Diptera, ki je bil izredno pestro zastopan. Večina so bili osebki, ki so plenilci ali detritivori. Večina larv vodnih žuželk ni selektivna pri izbiri hrane, ampak očitno je gostota, biomasa in biodiverziteteta večja v vodotokih s potopljenimi makrofiti, ki jim omogočajo dodatne vire hrane, skrivališča in življenjski prostor (Dvořák, 1987). Kot tretja



najštevilčnejša skupina je takson Ephemeroptera, v večini s predstavniki rodu *Baetis*. Za družino Baetide velja, da so v sredini tolerančnega območja za večino okoljskih stresov in tolerantni na sedimentacijo in obremenjevanje s hranili. So tudi dobri plavalci in lahko preživijo v okolju z močnejšim vodnim tokom (Hall in sod., 2006). Predstavniki te skupine so strgalci in detritivori. Prva skupina se prehranjuje s strganjem perifitona z anorganskega substrata. Delež strgalcev zaseda tretje mesto na tem vzorčnem mestu. K strgalcem spada tudi dokaj številčna skupina mehkužcev (Mollusca) in larv hroščev (Coleoptera). Na zadnjem vzorčenju se je izjemno povečalo število taksona *Viviparus viviparus* (Mollusca), ki je razširjen v majhnih potokih s počasnim tokom (Angelov, 2000). Predpostavljamo, da se je število povečalo zaradi izpusta vode iz Slivniškega jezera, zaradi napovedanih padavin. Med polži je bil tudi takson *Ancylus fluviatilis*, ki poseljuje vodotoke s stabilnim, nepremikajočim trdnim anorganskim substratom (Giller in Malmqvist, 1998). Številčne skupine so bile še mladoletnice (Trichoptera), hrošči (Coleoptera) in maloščetinci (Oligochaeta). Število slednjih se je tekom vzorčenj poviševalo, saj je dostopnost hrane njihov edini omejujoč dejavnik, ki vpliva na njihovo razširjenost (Wetzel, 2001). Plenilcev in filtratorjev je bilo najmanj. Manjše število plenilcev je povezano z manjšim številom plena, premajhen pretok za pridobitev zadovoljive količine suspendiranih delcev (Jesus in sod., 2005) pa je vzrok za manjši delež filtratorjev. Odsek vodotoka, kjer je vzorčno mesto P1, je izredno dobro ohranjen. Kemijski parametri nakazujejo dobro stanje, pestrost življenjskih oblik to potrjuje. Dodaten dokaz čistosti tega odseka je prisotnost larv vrbnic (Plecoptera). Te poseljujejo hladne, pretočne potoke prvega ali drugega kakovostnega razreda. So občutljive na organsko onesnaženje, oziroma na nizke koncentracije kisika. Odsotnost škrig pojasnjujejo njihovo občutljivost na pomanjkanje kisika (Giller in Malmqvist, 1998). Občasne povečane koncentracije nitratnih ionov, so posledica gnojenja okoliških zemljišč. Kar pa trajno ne vpliva na stanje vodotoka.

Na vzorčnem mestu P2 so prevladovali maloščetinci (Oligochaeta). Ponovno so bili osebki taksona Tubificidae najštevilčnejši. Sledita mu *Syldrilus* sp. in *Branchiura sowerbyi*. Omenjena vrsta ima dorzalno in ventralno dodatne škržne filamente. Večji osebki taksona Oligochaeta imajo običajno raztopljen hemoglobin v krvni plazmi. Parcialni tlak kisika v telesu je približno enak pritisku v vodi. Ko parcialni pritisk kisika pade, hemoglobin to izenači s povečanjem prenašalne kapacitete molekul kisika (Wetzel, 2001). Maloščetinci so

detritivori, ki se prehranjujejo z usedlimi drobnimi odmrli ali alohtonimi ali avtohtonimi organskimi delci koloniziranimi z bakterijami in ostalimi mikroorganizmi (FPOM). Tolerirajo nizke koncentracije kisika in večjo organsko obremenjenost. Da gre za organsko obremenjen del vodotoka, nakazujejo tudi rezultati o količini suspendiranih snovi, elektroprevodnosti ter koncentraciji nitratnih in ortofosfatnih ionov. Glede na druga vzorčna mesta ima mesto P2 najvišje vrednosti omenjenih parametrov. Anorganski substrat tega odseka vodotoka ni prekrit z organskim, torej je vir detrita alohton. Maloščetincem sledijo dvokrilci (Diptera), ki so prav tako tolerantni na prekomerno obremenjenost voda. Le na tem mestu se na prvih dveh vzorčenjih pojavijo osebkovi iz vrst *Chironomus obtusidens*, *Chironomus thummi* in *Chironomus plumosus*. Zaradi izrastkov na zadnjem delu telesu, so dobro prilagojeni na pomakanje kisika. Nekatere larve iz rodu *Chironomus* lahko izločajo mlečno kislino, ki nastane pri anaerobnem metabolizmu, ter se tako izognejo kisikovemu dolgu (Wetzel, 2001). Nasičenost vode s kisikom je bila v letu 2010 boljša, zato so predstavniki omenjenih vrst izginili. Poleg teh so bili prisotni tudi drugi taksoni iz poddružin Chironominae, Tanytopodinae in Orthocladiinae. Predstavniki omenjenih taksonov so večinoma plenilci ali detritivori. Število osebkov iz taksona *Simulium* sp. je na tem mestu majhno. Ephemeroptera so tretja skupina najštevilčnejših osebkov na mestu P2. Poleg *Baetis* sp. se pojavijo trije osebkovi iz rodu *Caenis* sp. in osebek iz vrste *Ephemera danica*. Večina najštevilčnejših osebkov je detritivorov, kar nakazuje na veliko obremenjenost z drobnimi usedlimi organskimi delci. Kar nekaj omenjenih taksonov ima različne načine prehranjevanja, tako so lahko delno detritivori in delno plenilci. Tudi delež plenilcev je velik, pojav pijavk kot glavnih plenilcev je bil manjši. Po prehranskih skupinah sledijo strgalci, kar nas preseneča, saj nismo opazili, da bi bili kamni porasli s perifitom. Veliko organizmov je generalistov ter se poslužujejo tistega načina prehranjevanja, ki je v danih razmerah najprimernejši. Na zadnjem vzorčenju smo opazili spremembo v sestavi makroinvertebratov. Povečalo se je število osebkov taksona Ephemeroptera in Trichoptera, upadlo pa je število osebkov Oligochaeta in Diptera. Wetzel (2001) pravi, da veliko vodnih maloščetincev tolerira nizke koncentracije kisika in so celo za kratek čas zmožni preživeti v okolju brez kisika. Takšen primer so osebkovi družine Tubificidae, ki živijo na muljastem dnu strug rek. Določeni predstavniki družine, kot je *Tubifex tubifex*, umre ob predolgi izpostavljenosti večji koncentraciji kisika. Podatki potrjujejo, da se je na zadnjem vzorčenju precej dvignila koncentracija raztopljenega kisika

v vodi, kar je možen vzrok za umik teh visoko tolerančnih živali. Prav tako, na zadnjem vzorčenju nismo več opazili osebkov rodu *Chironomus*, ki so tudi prilagojeni na ekstremno nizke koncentracije kisika. Glede na prehranjevalno strategijo, se je zmanjšalo število detritivorov in povečalo število osebkov, ki so omnivori.

Na vzorčnem mestu P3 je največji delež osebkov pripadal maloščetincem (Oligochaeta). Največ je bilo predstavnikov družine Tubificidae, v manjši meri sledi rod *Stylodrilus* sp. in *Branchiura sowerbyi*. Maloščetinci so tolerantni na nizke koncentracije kisika in večjo organsko obremenjenost, zato so dobri indikatorji organske onesnaženosti. Sposobni so prilagoditve respiracije na nizke koncentracije kisika, tja od 10 % do 15 % nasičenosti vode s kisikom, pod 10 % nasičenostjo pa hemoglobin ne more več vezati molekul kisika. Pod tem nivojem je hranjenje in iztrebljanje zmanjšano (Brandt, 1978). Območje vzorčnega mesta P3 je slabo preskrbljeno s kisikom, organski substrat predstavljajo nitaste alge, osenčenost je minimalna in obremenjenost vode s hranili je velika. Predstavniki tega taksona so po večini detritivori. Po Gillerju in Malmqvistu (1998) je velik delež detritivorov povezan s perifitonom, ki povečuje zadrževanje organskih delcev v strugi. Količina drobnih organskih delcev (FPOM) se dolvodno povečuje, zato je večja številčnost detritivorov na tem mestu pričakovana. Število maloščetincev je bilo najvišje v jesenskem vzorčenju, kar je posledica večjega števila razgrajenih odmrlih organskih delcev v vodi zaradi odmiranja in razgradnje primarnih producentov. Na tem mestu je bil zelo pogost takson *Asellus aquaticus*, ki je bil edino na tem mestu najden. Je specifičen v načinu prehranjevanja. Najraje se prehranjuje z usedlinami drobnih odmrlih organskih snovi, torej je detritivor, lahko je pa tudi drobilec in strgalec. Je izredno toleranten organizem, saj se pojavlja od zakisanih gozdnih do močno organsko obremenjenih vodotokov (Giller in Malmqvist, 1998). Po številčnosti maloščetincem sledijo dvokrilci (Diptera), enodnevnice (Ephemeroptera) in pijavke (Hirudinea). Dvokrilci so zastopani s taksoni *Simulium* sp., Chironominae in Orthoclaadiinae, slednji sta pretežno detritivorni. Rod *Simulium* sp. je filtratorski, saj se prehranjuje s filtriranjem suspendiranih drobnih organskih delcev iz tekoče vode. Število osebkov iz skupine Diptera se je na zadnjem vzorčenju zmanjšalo. V okviru taksona Ephemeroptera se je na tem vzorčnem mestu pojavljal le rod *Baetis*. Predstavniki te skupine so deloma detritivori, deloma strgalci. Značilnost enodnevnice so škrge po abdominalnih segmentih. Naloga teh je, da ustvarjajo stalen tok vode okoli

njihovega telesa. Tako si zagotavljajo stalen dotok sveže, s kisikom bogate vode. Različne vrste enodnevnice so različno občutljive na primanjkljaj kisika v vodi, zaradi česar so dobri indikatorji organske onesnaženosti (Giller in Malmqvist, 1998). Kot četrti najštevilčnejši takson so bile pijavke, ki sta jih zastopala taksona *Erpobdella* sp. in *Helobdella stagnalis*. Predstavniki so plenilci, ki plenijo številne vodne nevretenčarje, kot so polži, larve žuželk, maloščetinci, nekaj jih parazitira na ribah, dvoživkah, pticah in sesalcih. Niso pomemben vir hrane v vodnih ekosistemih (Giller in Malmqvist, 1998). V laboratoriju so dokazali, da *Erpobdella punctata* zaužije 1,78 osebkov *Tubifex tubifex* na dan, *Helobdella stagnalis* pa 0,57 na dan (Wetzel, 2001). Na zadnjem vzorčenju je število pijavk drastično upadlo. Ko je gostota osebkov pijavk prevelika, je lahko velikost populacije regulirana s strani velike smrtnosti njihovih jajc, ki jih pojedo odrasle pijavke (Elliot, 1973). Prav tako navajajo, da je lahko vzrok visoke umrljivosti, pomanjkanje hrane (Martin in sod., 1994). Odgovor na zmanjšanje številčnosti pijavk, je v povečanju števila maloščetincev. Na zadnjem vzorčenju se je povečalo število osebkov taksona Trichoptera, predvsem rodu *Hydropsyche* in *Stactobia*. Glede na način prehranjevanja so predstavniki prve skupine strgalci, filtratorji ali plenilci, predstavniki druge pa le strgalci. Strgalci, ki se prehranjujejo s strganjem perifitona z različnih substratov v vodnem okolju (Morse, 2003), so lahko v poletnem času pogostejši zaradi perifitonske razrasti, ki jo omogoča stabilen anorganski substrat in ugodne svetlobne razmere (Minshall, 1984). Delež strgalcev se je na zadnjem vzorčenju povečal, kar lahko razložimo z večjo številčnostjo mladoletnic. Giller in Malmqvist (1998) opisujeta takson Hydropsychidae, kot izredno agresivno in številčno veliko skupino nevretenčarjev, ki izpodrine druge organizme ter zasede ves prostor, ki je na voljo. Delež detritivorov je bil, ne glede na letni čas, največji. Pod to skupino v največji meri uvrščamo maloščetince, nekatere larve trzač in enodnevnice. Plenilci so bili druga najštevilčnejša skupina. Na prvem vzorčenju je bilo osebkov s tem načinom prehranjevanja več kot v drugih dveh, predvsem zaradi številčnosti pijavk. Sledijo strgalci, filtratorji in drobilci. Rezultati nakazujejo na to, da se je stanje na vzorčnem mestu izboljšalo, saj so skupine tolerantne na onesnaženje, zamenjale skupine, ki imajo ožje tolerančno območje. Pojav mladoletnic lahko razložimo s povišano koncentracijo kisika v vodi in s povečano nasičenostjo vode s kisikom. Prav tako, smo izmerili na zadnjem vzorčenju nižjo koncentracijo nitratnih ionov, kar je možna posledica velike perifitonske razrasti.

Vrednosti **Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa** so se gibale med 1,9 in 3,6. Po pričakovanjih je bila najvišja diverziteta bentoških vodnih nevretenčarjev na vzorčnem mestu P1, torej v zgornjem toku. Vzroki za to so: pester anorganski substrat, visoke vsebnosti kisika, majhna organska obremenjenost, prisotnost vodnih makrofitov in obvodne vegetacije. Kot pravi Matoničkin (1972) obrežna vegetacija vodotoka vpliva na režim vode s stopnjo senčenja. Poleg tega je opad izvor hrane za vodne nevretenčarje, vpliva na ionsko sestavo vode, kar vpliva tudi na vodne rastline. Vzorčno mesto P2 ima najnižjo biotsko pestrost. Vzrok za to je direkten vnos organskih odpadnih voda v vodotok. Dno odseka sestavlja po večini mikrolital, ki ga ne pokriva organski substrat. Nizke koncentracije kisika, visoke temperature, močna organska obremenjenost, odsotnost vodnega rastlinja vpliva na oceno kakovosti vode ter določitev, da je na tem odseku srednje obremenjena voda. Zadnje vzorčno mesto P3 je bilo glede na diverzitetni indeks vrstno pestrejše. V raziskavi smo zabeležili dokaj pester anorganski substrat, ki je omogočal veliko raznovrstnost habitatov z različnimi hitrostmi vodnega toka. Del vodotoka je dobro presvetljen, anorganski substrat pokrivajo nitaste alge, je zadostno preskrbljen s kisikom in na tem mestu se izmenjujejo tolmuni in brzice. Odsek vodotoka ima, glede na rezultate naše raziskave, malo do neobremenjeno vodo.

Posebnost so rezultati na mestu P2 in P3. Dejstvo, da naj bi vrednosti po toku upadale, v tem primeru ne velja, saj je imelo mesto P3 večji Shannon-Wienerjev indeks. Naknadno smo ugotovili, da se nekaj metrov pred vzorčnim mestom P2 v vodotok izlivajo odpadne vode iz okoliških hiš. To je vsekakor glavni razlog za obremenjenost vodotoka na tem odseku. Prav tako smo ugotovili, da so vrednosti v jesenskem času upadle. Wetzel (2001) navaja, da je številčnost in vrstna pestrost taksonov odvisna od sezone. Bentični organizmi se prilagodijo spremembam, lahko se spopadejo z novonastalimi spremembami, preidejo v fazo dormance, se preselijo ali poginejo. Sposobnosti prilagajanja bentičnih živali na dinamičen vodni sistem, je osnova za njihovo razširjenost, rast, produkcijo in nivo reprodukcije.

Zgornji tok reke Vogljajne lahko uvrstimo v 2. kakovostni razred, saj so bile vrednosti **saprobnegega indeksa** med 1,8 in 2,2. Po Sladečku (1965) je to mezosaprobna stopnja. Kombinacija taksonov značilnih za to stopnjo so, po mnenju Matoničkina (1972), populacije postranic (*Gammarus fossarum*) skupaj z ličinkami enodnevnice (*Ephemerella*

*ignita*) in večjim številom različnih vrst maloščetincev. Najštevilčnejši so bili osebki taksonov Chironomidae, kot so Chironomini, Orthoclaadiinae in Tanytarsini. V vodotoku je večji del dna pokrival klasasti rmanec (*Myriophyllum spicatum*), nitastih alg ni bilo prisotnih. Prav te značilnosti vod mezosaprobnega tipa opisujeta tudi Urbanič in Toman (2003). Izmerjeni kemijski in fizikalni parametri, kot so zmerna, oziroma občasna organska obremenjenost s hranili, visoke koncentracije kisika, nizke količine suspendiranih organskih snovi, prav tako nakazujejo na ugodno saprobno stanje reke. V času vzorčenja smo opazili več jat majhnih rib.

Med srednje do močno obremenjen odsek vodotoka spada območje vzorčnega mesta P3. Stopnja saprobne indeksa je bila med 2,6 in 3,1, kar ta odsek uvrsti med drugi in tretji kakovostni razred. Na tem odseku je bila opazna obremenjenost vode z organskimi hranili. Pri vzorčenju smo opazili, da je pestrost organizmov manjša, določene vrste (maloščetinci in pijavke) so se množično pojavljale. Anorganski substrat je bil pester, prekrivale so ga nitaste alge, ki lahko tvorijo številne kolonije in so pogostejše kot v 2. kakovostnem razredu. Pred izgradnjo ČN Šentjur smo ob nizkih vodostajih velikokrat opazili pomore rib, vzrok je v velikih nihanjih koncentracij kisika (Urbanič in Toman, 2003).

Organsko najbolj obremenjen del vodotoka je na mestu P2, torej med mestoma P1 in P3. Vrednosti saprobne indeksa so bile med 3,1 in 3,5, ki po Sladečku (1973) uvršča odsek med tretji in četrti kakovostni razred. Vtok odpadne vode iz okoliških hiš, je glavni razlog za slabo kakovost vode. Urbanič in Toman (2003) navajata, da taka okolja predstavljajo omejujoče pogoje za vsa živa bitja zaradi prekomernih količin organskih in drugih snovi, zaradi katerih mikroorganizmi porabljajo kisik. Trditev se sklada tudi s podatki o majhni vrstni pestrosti. Zaradi občasnega pomakanja kisika so se pojavljale anoksične razmere. Posledica tega so bile opažene temno obarvane površine kamnov zaradi železovega sulfida. Na jesenskem vzorčenju smo zaznali čuden vonj, ki bi lahko bil vodikov sulfid, ki se je sproščal iz usedlin. Pomakanje kisika omogoča življenje samo izredno tolerančnim taksonom, kot so ličinke trzač rodu *Chironomus*, maloščetincem rodu *Tubifex* in pijavkam. Splošno so bile višje vrednosti saprobne indeksa jeseni, zaradi odmiranja vodne in obvodne vegetacije, gnojenja kmetijskih površin in večje količine padavin, ki spirajo snovi iz prispevnega območja.

Predvidevamo, da se je stanje vodotoka v letu 2010, zaradi delovanja čistilne naprave Šentjur in nanj vezanega največjega onesnaževalca z organskimi snovmi, izboljšalo na

vzorčnem mestu P3 in P2. Slednje mesto bo še vedno močno obremenjeno, vsaj dokler ne bo kanalizacija okoliških hiš vezana na ČN Šentjur. Po podatkih Društva za ribištvo Slovenije (2008) ocenjujejo ekološko stanje Vogljajne od Slivniškega jezera do izliva v Savinjo kot zmerno.

Klastrska analiza podobnosti taksonomske sestave združbe makroinvertebratov z **Bray – Curtisovim indeksom** je pokazala, da so si vzorci nabrani iz istih vzorčnih mest ne glede na čas bolj podobni kot pa vzorci nabrani v enakem času na različnih vzorčnih mestih. Vzorčno mesto P1 odstopa od drugih dveh, kar je razložljivo z dejstvom, da leži bližje izviru, razen kmetijskih površin nima drugih virov organskega obremenjevanja, struga je ožja, tok je hitrejši, anorganski in organski substrat je drugačen. Glede na število osebkov sta si najbolj podobna vzorca nabrana na vzročnem mestu P3, 25. 8. 2009 in 24. 11. 2009. Sledijo vzorci nabrani v istem terminu na vzročnih mestih P1 in P2. Vzrok za takšen rezultat je lahko raznolikost vzorčnih mest glede na substrat (anorganski in organski), prisotnost obrežne vegetacije in fizikalni ter kemijski dejavniki. Očitno sezonske spremembe v vodotoku Vogljajna na vodne organizme ne vplivajo v največji meri. Iz slike 23 razberemo, da vzorci nabrani leta 2010 na mestih P2 in P3 izstopajo, oziroma so si manj podobni z vzorci odvzetih iz prvih dveh vzorčenj. Sklepamo lahko, da je v vodotoku prišlo do nekakšnih sprememb. Za spremembe na vzročnem mestu P2 in P3 je ena od možnih razlag izgradnja centralne čistilne naprave Šentjur. Nanjo se je del odpadnih voda leta 2010 že vezalo. Vzrok za večje spremembe na mestu P2 leta 2010 je lahko tudi direkten vnos odpadne vode v vodotok. Zaradi povišane organske razgradnje je prišlo do pomakanja kisika in posledično zmanjšanja števila vodnih nevretenčarjev. Manjše razlike so se sicer pojavile tudi v vzorcih odvzetih na vzročnem mestu P1, na kar pa čistilna naprava nima vpliva.

Pri **Sorensenovem indeksu** podobnosti je osnova število skupnih taksonov, ne pa število osebkov. Rezultati so podobni kot v prejšnjem primeru. Ponovno je bila podobnost vzorcev združbe vodnih nevretenčarjev, nabranih na istih vzorčnih mestih ob različnem času večja, kot podobnost vzorcev nabranih iz različnih vzorčnih mestih ob enakem času. Vzorčno mesto P1 se tudi glede na taksonomsko sestavo očitno razlikuje od drugih dveh. Vzorci nabrani na vzročnem mestu P1 na prvih dveh vzorčenjih so si najbolj podobni. Glede na

Sørensenov indeks sta si vzorca na mestu P3 iz 24. 11. 2009 in 24. 8. 2010 taksonomsko bolj podobna. Vzorca iz vzorčnega mesta P2 leta 2010 ponovno izstopajo, in so po taksonomski sestavi bolj podobni vzorcem iz vzorčnega mesta P3. Menimo, da je to bolje, saj so večino vzorca nabranega iz leta 2009 na mestu P2 sestavljale makroinvertebrateske združbe prilagojene na nizko vsebnost kisika. Stanje odseka vodotoka se je izboljšalo, pojavile so se nove, druge vrste nevretenčarjev, ki smo jih našli tudi na vzorčnem mestu P3, kjer je bilo fizikalno in kemijsko stanje vode boljše.

V raziskavo **kanonične korespondenčne analize (CCA)** smo zajeli okoljske spremenljivke, ki naj bi vplivale na variabilnost makroinvertebrateske združbe. Dokazali smo, da največji delež variabilnosti združbe pojasnimo s pH, temperaturo vode in nasičenostjo s kisikom. Z omenjenimi tremi spremenljivkami lahko pojasnimo 71 % variabilnost združbe vodnih nevretenčarjev. Rezultati so nas presenetili, saj smo menili, da bo imela največji vpliv koncentracija hranil, saj gre za izjemno, z organskimi hranili, obremenjen vodotok. Lažje razložljiv je vpliv temperature. Veliko raziskovalcev je potrdilo, da temperatura vpliva na sestavo združbe, saj se pri nizkih temperaturah v vodi raztopi več kisika. Organizmi, ki niso prilagojeni na velika nihanja v koncentraciji kisika v vodi, živijo v hladnejših vodah. To so predvsem ličinke vrbnic in mladoletnic. Burgmer (2007) navaja, da število osebkov, kot so polži, mladoletnice, hrošči, enodnevnice in dvokrilci, z naraščanjem temperature upada. Prav tako se zmanjšuje števila habitatov, kjer se ti osebki zadržujejo. S poviševanjem temperature vode je možno izginotje teh omenjenih skupin na mestih vzorčenj. Sklepamo lahko, da globalno segrevanje ne vpliva na vse taksonomske skupine enako. S temperaturo je povezana tudi nasičenost vode s kisikom. V letu 2010 smo izmerili višje vrednosti. Na boljšo nasičenost bi prav tako lahko pripomogla izgradnja centralne čistilne naprave Šentjur.



## 5.2 SKLEPI

V raziskavi smo primerjali vrstno diverzitetu in vrstno sestavo združbe makroinvertebratov med vzorčnimi mesti v različnih obdobjih v reki Vogljajni. Predvidevali smo, da se bodo abiotiski dejavniki in struktura združbe bentoških nevretenčarjev po toku spreminjala. Ko smo pregledali podatke smo ugotovili, da srednje vzorčno mesto P2 odstopa, sklepamo da zaradi vnosa organskih odpadkov v vodo. Rezultati na vzorčnih mestih P1 in P3 so v skladu s pričakovanji.

**1.** Temperaturne spremembe v vodotoku so bile odraz klimatskih razmer. Na jesenskem vzorčenju so bile nižje. Poleti so bile temperature najvišje na vzorčnem mestu P2, kjer so bregovi najmanj porasli z obrežno vegetacijo, globina vode pa je nizka.

**2.** Nasičenost vode s kisikom v času vzorčenj ni nikoli presegala 100 %, kar nakazuje na slabo prezračevanost vodotoka. Na mestu P3 je bila na prvem vzorčenju zaskrbnjujoče nizka (45 %). Opazen je trend upadanja koncentracije kisika v vodi in nasičenosti vode s kisikom od mesta P1 do P3. Rezultati so lahko posledica različnega časa merjenja.

**3.** Elektroprevodnost in količina suspendiranih snovi potrjujeta našo predvidevanje, da vnos odpadne vode na vzorčnem mestu P2, povečuje organsko obremenjenost tega odseka.

**4.** PH je povsod  $>7$ , kar je pričakovano, saj reka teče po karbonatnih tleh.

**5.** Koncentracije nitratov in ortofosfatov izredno nihajo tako med vzorčnimi mesti kot na istih vzorčnih mestih ob različnih časih vzorčenja.

**6.** Pri vseh treh vzorčenjih smo skupno nabrali 15950 vodnih nevretenčarjev, največ 24. 8. 2010 na vzorčnem mestu P3. Slednje je imelo vedno najvišjo številčnost osebkov. Sledi vzorčno mesto P2 in P1. V raziskavi smo določili 83 taksonov, od tega največ na vzorčnem mestu P1, kjer je bila vrsta pestrost vodnih nevretenčarjev vedno največja. Zgornji tok reke Vogljajne je po sestavi bentoških nevretenčarjev drugačen, saj je bilo največ osebkov vrste *Gammarus fossarum*, sledijo osebki taksonov Diptera, Ephemeroptera, Trichoptera in

Oligochaeta. Na vzorčnem mestu P2 in P3 je največ osebkov pripadalo taksonu Oligochaeta, rodu *Tubifex*. Sledijo taksoni Diptera, Ephemeroptera in Hirudinea.

**7.** Detritivori so izrazito prevladovali na vzorčnih mestih P2 in P3, medtem ko so se na mestu P1 izmenjevali detritivori in drobilci. Visok delež imajo tudi strgalci. Plenilci so številčno prevladovali le na prvem vzorčenju na mestu P3. Delež filtratorjev je bil na vseh vzorčnih mestih najmanjši.

**8.** Vrstna pestrost vodnih nevretenčarjev je bila največja na mestu P1. Najmanjšo vrednost diverzitetnega indeksa smo izmerili na mestu P2, kjer so prevladovali izredno tolerantni makroinvertebrati. Nihanja so najbolj opazna na vzorčnem mestu P3, kjer je razlika med zimskim in poletnim vzorčenjem za eno enoto.

**9.** Zgornji odsek reke Vogljajne smo glede na saprobno stanje uvrstili v 2. kakovostni razred. Drugo vzorčno mesto je bolj organsko obremenjeno, zato smo ga uvrstili med tretji in četrti kakovostni razred. Po toku navzdol potekajo samočistilni procesi tako, da je voda na odseku P3 že manj onesnažena. Uvrstili smo jo v tretji kakovostni razred. Rezultati o saprobnem stanju se skladajo z rezultati o vrstni diverziteti. Potrdili smo znano dejstvo, da je v čistejšem okolju z manj organskega onesnaženja, diverzitetna večja.

**10.** Bray- Curtisov in Sørensenov indeks nakazujeta, da so si med seboj bolj podobni vzorci iz istih mest kot časovno. Izstopa vzorec z mesta P2, 24. 8. 2010, ki se razlikuje od ostalih z mesta P2, saj je bolj podoben vzorcem iz vzorčnega mesta P3, glede na Sørensenov indeks.

**11.** S tremi spremenljivkami okolja, pH, temperatura vode in nasičenost vode s kisikom, smo pojasnili 71% variabilnosti makroinvertebratske združbe. Na prisotnost in razporeditev posameznih taksonov makroinvertebratske združbe je najbolj vplival pH.

## 6 POVZETEK

Meandrirajoča struga reke Voglajne se vije od iztoka iz Slivniškega jezera pa vse do Štor. Od tam naprej je regulirana, pri Zagradu se izliva v reko Savinjo. Vodotok je bil uvrščen med najbolj organsko onesnažene vodotoke Slovenije, zaradi velike količine industrijskih in komunalnih neprečiščenih odpadnih voda. Povečane količine hranil, kot sta dušik in fosfor, sta povzročala spremembe v združbi vodnih organizmov. Zaradi povišane razgradnje organskih snovi in pomanjkanja raztopljenega kisika v vodi ter hkratnemu nizkemu poletnemu vodostaju, smo bili velikokrat priča pomoru rib.

Izgradnja centralne čistilne naprave Šentjur leta 2010, naj bi izboljšala stanje reke Voglajne. Zato smo z raziskavo želeli ovrednotiti vpliv čistilne naprave na strukturo združbe bentoških nevretenčarjev v organsko obremenjenem vodotoku Voglajna. Zanimala nas je sprememba v taksonomski sestavi makroinvertebratov, številčnosti, diverziteti in prehranskih skupinah pred in po izgradnji čistilne naprave Šentjur. Poleg merjenja splošnih fizikalnih in kemijskih parametrov, smo ugotavljali tudi saprobno stanje reke, podobnost med vzorčnimi mesti ter vpliv posameznih okoljskih spremenljivk na variabilnost sestave združbe vodnih nevretenčarjev.

Na reki Voglajni smo določili tri vzorčna mesta; prvo vzorčno mesto se je nahajalo v zgornjem toku reke Voglajne, druga dva pa nižje, kjer reka teče mimo naselij in industrijskih objektov. Vzorčenja so potekala 25. 8. 2009, 24. 11. 2009 ter 24. 8. 2010. Na vzorčnih mestih smo določili hidromorfološke parametre (hitrost vodnega toka in substrat), fizikalne in kemijske parametre (temperatura, koncentracija raztopljenega kisika v vodi, nasičenost vode s kisikom, pH, elektroprevodnost, skupne suspendirane snovi, koncentracija nitratnih in ortofosfatnih ionov) in izvedli biološke analize. Makroinvertebrate smo vzorčili s kvantitativnim vzorčenjem in metodo »kick sampling«. Po določitvi taksonomske sestave smo izračunali deleže osebkov posameznih višjih taksonomskih skupin, deleže prehranskih skupin, Shannon-Wienerjev indeks, saprobni indeks. Naredili smo klastersko analizo makroinvertebratov (Bray – Curtisov indeks, Sørensenov indeks podobnosti) in kanonično korespondenčno analizo (CCA).

Hitrosti vodnega toka na vzorčnih mestih so bile raznolike zaradi različne količine vode in globine struge. Anorganski substrat, predvsem deleža mezolitala, je bil podoben na vzorčnih mestih P1 in P3, na P2 je prevladoval mikrolital. Klasasti rmanec (*Myriophyllum spicatum*) je pokrival dno odseka P1, kodravi dristavec (*Potamogeton crispus*) pa vzorčnega mesta P3. Meritve koncentracij kisika v vodi in nasičenosti vode s kisikom kažejo na slabo prezračenost vodotoka Vogljajna. Nasičenost vode s kisikom ni nikoli preseгла 90 %. Meritve elektroprevodnosti in skupnih suspendiranih snovi so v mejah normale. Povišane vrednosti so na mestu P2, kjer je vtok odpadne vode. V skladu s pričakovanji so tudi vrednosti pH. Koncentracija nitratnih in ortofosfatnih ionov ne nakazuje na povečanje vsebnosti po toku navzdol, ampak so izmerjene vrednosti specifične za posamezno vzorčno mesto in čas vzorčenja. Meritve koncentracije kisika, nasičenosti vode s kisikom obremenjenost z organskimi snovmi, oziroma nitrati in fosfati kažejo na obremenjevanje s hranili, bodisi s spiranjem s kmetijskih površin ali z izpusti odpadnih voda.

V 9 vzorcih smo določili 83 taksonov, od tega največ na vzorčenem mestu P1, najmanj na vzorčenem mestu P2. Številčnejše skupine vodnih nevretenčarjev so bile: maloščetinci (Oligochaeta), dvokrilci (Diptera), enodnevnice (Ephemeroptera) in pijavke (Hirudinea). Na vzorčnih mestih P2 in P3 so prevladovali maloščetinci (Tubificidae), na vzorčenem mestu P1 pa postranice (*Gammarus fossarum*).

Deleži prehranskih skupin so si večinoma sledili od največjega proti manjšemu: detritivori, plenilci, strgalci, drobilci in filtratorji. Delež detritivorov je največji na mestih P3 in P2, na slednjem so zastopani kar v 93 %. Deleži plenilcev so si bili med posameznimi vzorčnimi mesti podobni, razen na prvem vzorčenju na mestu P3, kjer so bile pijavke izredno številčne. Glede na obraščenost anorganskega substrata sta imeli vzorčni mesti P1 in P3 večji delež strgalcev. Drobilci so vodilna prehranjevalna skupina osebkov na mestu P1, kar nakazuje na večjo količino odmrlega organskega materiala zaradi bližine gozda in obrežne vegetacije. Delež filtratorjev je bil najnižji in približno enak na vseh vzorčnih mestih.

Po vrednostih Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa uvrščamo vodotok Vogljajna med neobremenjene, v zgornjem toku, ter malo do srednje obremenjene vodotoke, v

spodnjem toku. Diverziteteta na vzorčnih mestih P1 in P3 je po predvidevanjih. Da se diverziteteta ne zmanjšuje dolvodno, je kriv vnos komunalne odpadne vode pri vzorčnem mestu P2. Število taksonov je bilo višje v poletnih vzorčenjih.

Obremenjenost reke Vogljajne z organskimi snovmi v zgornjem toku je zmerna. Glede na vrednosti saprobnega indeksa smo jo uvrstili v drugi kakovostni razred. Dolvodno se saprobno stanje reke slabša. Na vzorčnem mestu P2 smo reko uvrstili med tretji in četrti kakovostni razred. Ker po strugi navzdol potekajo samočistilni procesi, ki izboljšajo kakovost vode, smo odsek reke Vogljajne na vzorčnem mestu P3 lahko uvrstili v tretji kakovostni razred. Saprobnost stanje reke se je izboljšalo po vzpostavitvi delovanja centralne čistilne naprave Šentjur.

Rezultati klastrske analize makroinvertebratov so pokazali večjo podobnost med vzorci nabranimi na istem vzorčnem mestu, kot nabranimi ob istem času vzorčenja. Vzorci nabrani na vzorčnem mestu P2, 24. 8. 2010, izstopajo in so si glede na Sørensenov indeks bolj podobni vzorcem pobranih iz vzorčnega mesta P3. Takšen rezultat je spodbuden, saj so bili na tretjem vzorčnem mestu vseskozi prisotni manj tolerantni organizmi na onesnaženje.

S tremi spremenljivkami okolja (pH, nasičenost vode s kisikom in temperatura vode) smo pojasnili 71 % variabilnost združbe vodnih nevretenčarjev. Največ variabilnosti je pojasnil pH, sledi temperatura in nasičenost vode s kisikom. Menimo, da rezultat o največjem vplivu pH na makroinvertebrate ni povsem pravilen.

## 7 VIRI

Amyot M., Pinel-Alloul B., Campbell P.G.C., Desy J.C. 1996. Total metal burdens in the freshwater amphipod *Gammarus fasciatus*: contribution of various body parts and influence of gut content. *Freshwater Biology*, 35, 2: 363-373

Angel M.A. 2000. Mollusca (Gastropoda et Bivalvia) aquae dulcis. Pensoft Publisher and Backhuys Publisher: 57 str.

Askew R.R. 1980. The dragonflies of Europe. Harley Books: 308 str.

AQEM Consortium. 2002. Manual for the application of the AQEM system. A comprehensive method to assess European streams using benthic macroinvertebrates, developed for the purpose of the Water Frame Directive. February 2002

Ball R.C., Hooper F.F. 1963. Translocation of phosphorus in a trout stream ecosystem. V: First National Symposium on Radioecology, Colorado State University, Fort Collins, 10-15 sept. 1961. Vincent and Klement Jr, Alfred W (eds). New York, Reinhold Publishing Corporation: 217- 228

Braak C. J. F. & Šmilauer P. 2002. CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows user 's guide. Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Microcomputer Power, Ithaca

Bauernfeind E., Humpesch U.H. 2001. Die Eintagsfliegen Zentraleneuropas (Insecta: Ephemeroptera): Bestimmung und Ökologie. Wien, AV – Druck: 96 str

Bole J. 1969. Ključi za določevanje živali; Mehkužci (Mollusca). Ljubljana, Inštitut za biologijo Univerze v Ljubljani, Društvo biologov Slovenije: 115 str

Brandt, E. 1978. Anpassungen von *Tubifex tubifex* Müller (Annelida, Oligochaeta) an die Temperatur, den Sauerstoffgehalt und den Ernährungszustand. Frankfurt, Fachbereich Mathematik u. Naturwiss: 83 str.

Brezonik P.L. 1994. Chemical kinetics and process dynamics in aquatic system. Boca Raton, Lewis Publishers: 754 str.

Brinkhurst R. O. 1971. A guide for identification of British Aquatic Oligochaeta. 2. izdaja. University of Toronto, Freshwater biological association scientific publication: 55 str.

Burgmer T., Hillebrand H., Pfenninger M. 2007. Effects of climate-driven temperature changes on the diversity of freshwater macroinvertebrates. *Oecologia*, 151, 1: 93–103

Chapman D. 1992. Water quality assessments. London, Chapman and Hall: 609 str.

Dall P. C., Frieberg N., Lindegaard C., Toman M. J. 1995. A practical guide of biological assesment of stream water quality. V: Biological Assessment of Stream Water Quality (theory, application and comparison of methods). Toman M. J., Steinman F. Ljubljana, University of Ljubljana: 97 – 113 str.

Diaz O.A., Reddy K.R., Moore P.A. 1994. Solubility of inorganic phosphorus in streamwater as influence by pH and calcium concentration. *Water Reserch*, 28, 8: 1755-1763

Dvořák, J. 1987. Production-ecological relationships between aquatic vascular plants and invertebrates in shallow waters and wetlands- a review. *Archiv fur Hydrobiologie Beiheft Ergebnisse der Limnologie*, 27: 181-184

Eggers T. O., Martens A. 2001. A Key to the Freshwater Amphipoda (Crustacea) of Germany. *Lauterbornia*, 42: 1-68

Elliot, J.M. 1973. The diel activity pattern, drifting and food of the leech *Erpobdella octoculata* (L.) (Hirudinea: Erpobdellidae) in a Lake District stream. *Journal of Animal Ecology*. 42, 2: 435-448

Elliot J. M., Mann K. H. 1979. A Key to the British Freshwater Leeches with Notes on Their Life Cycles and Ecology. Freshwater Biological Association Scientific Publication, 40: 72 str.

Giller P.S., Malmqvist B. 1998. The biology of streams and rivers. New York, Oxford University Press: 304 str.

Hynes, H. B. N., 1960. The biology of polluted waters. Great Britain, Liverpool, Liverpool University Press: 230 str.

Hynes H.B.N. 1970. The ecology of running waters. Liverpool, Liverpool University Press: 555 str.

Jacobsen D., Sand-Jensen, K. 1995. Variability of invertebrate herbivory on the submerged macrophyte *Potamogeton perfoliatus* in a Danish stream. *Freshwater Biology*, 34, 4: 357-365

Kereži V. 2007. Makroinvertebratska združba potoka Glinščica. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo: 128 str.

Kiffney P.M. and Clements W.H. 1994. Effects heavy metals on macroinvertebrate assemblage from Rocky mountain stream and experimental microcosms. *Journal of the North American Benthological Society*, 13, 4: 511-523

Malmqvist B. and Eriksson A. 1995. Benthic insects in Swedish lake outlet streams: patterns and species richness and assemblage structure. *Freshwater Biology*, 34: 285-96



Martin, A.J., Seaby R.M.H., Yong J.O. 1994. Food limitation in lake- dwelling leeches. Field experiments. *Journal of Animal Ecology*, 63, 1: 93-100

Matoničkin I., Pavletić Z. 1972. Život naših rijeka. *Biologija tekućih voda*. Zagreb, Školska knjiga: 198 str.

Minshall G.W. 1998. Stream ecosystem theory: a global perspective. *Journal of the North American Benthological Society*, 7, 4: 263-288

Melhaus A., Seip K.L., Seip H.M. 1978. A preliminary study of the use of bentic algae as biological indicators of heavy metal pollution in Sorfjorden, Norway. *Environmental Pollution*, 15, 2: 101- 107

Moog O. (ur.) 1995. *Fauna Aquatica Austriaca*. Lieferung Mai/95. Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Land und Forstwirtschaft, Wien.

Moriarty F. 1990. *Ecotoxicology: the study of pollutants in ecosystem*. 2. izdaja. London, Academic Press: 347 str.

Morse J.C., 2003. Trichoptera (Caddisflies). V: *Encyclopedia of Insects*. Resh V.H., Card R.T. (ur.), Elsevier: 1145-1151.

Mulholland P.J., Newbold J.D., Ferren L.A. 1985. Phosphorus spiralling in a woodland stream: Seasonal variations. *Ecology*, 66, 3: 1012-1023

Nalepa T.F., Gardner W.S., Malczyk J.M. 1983. Phosphorus release by three kinds of benthic invertebrates: Effect of substrate and water medium. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 40, 6: 810-813

Ortiz J.D., Martí E., Puig M.A. 2005. Recovery of the macroinvertebrate community below a wastewater treatment plant input in a Mediterranean stream. *Hydrobiologia*, 545, 1: 289–302

Palmer M.A., Ambrose R.F., Poff N.L. 1997. Ecological theory and community restoration ecology. *Restoration Ecology*, 5, 4: 291-300

Perko, D., Orožen Adamič, M. 1998. Slovenija – pokrajine in ljudje. Ljubljana, Mladinska knjiga: 735 str.

Pipuš G. 2009. Poslovník za obratovanje CČN Šentjur. Ljubljana: 31 str.

Pivko Kneževič A. 2009. Ovrednotenje vpliva Centralne čistilne naprave Celje na reko Savinjo upoštevaje longitudinalne spremembe v združbi velikih vodnih nevretenčarjev. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo: 105 str.

Podani J. 2001. SYN-TAX-2000. Computer Programs for Data Analysis in Ecology and Systematics. Scientia Publishing, Budapest.

Rejic M., Smolej I. 1988. Sladkovodni ekosistemi in varstvo voda. Gozdna hidrologija. Ljubljana, VTOZD za gozdarstvo BF: 225 str.

Rigler F.H. 1964. The phosphorus fractions and the turnover time of inorganic phosphorus in different types of lakes. *Limnology and Oceanography*, 9, 4: 511-518

Savage A. A. 1989. Adults of the British aquatic Hemiptera Heteroptera: A key with ecological notes. Freshwater Biological Association Scientific Publication, 50: 173str.

Sivec I. 2003a. Vrbnice – Plecoptera. V: Živalstvo Slovenije. Sket B., Gogala M., Kuštor V. (ur.). Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 290 – 294 str.

Sivec I., Horvat B., Trilar T. 2003b. Dvokrilci – Diptera. V: Živalstvo Slovenije. Sket B., Gogala M., Kuštor V. (ur.). Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 419 – 432 str.

Sladeček V. 1973. System of water quality from biological point of view. USA, Lubrecht & Cramer: 218 str.

Statzner B., Gore J.A., Resh V.H. 1988. Hydraulic stream ecology: observed patterns and potential applications. *Journal of the North American Benthological Society*, 7, 4: 307-60

Suberkropp K., Chauvet E. 1995. Regulation of leaf breakdown by fungi in streams: Influences of water chemistry. *Ecology* 76, 5: 1433- 1445

Štraus M. 2006. Zbornik ribiške družine Voglajna. 50 let gospodarjenja z voglajnskim ribiškim okolišem. Celje, Grafika Gracer, d.o.o.: 41 str

Tachet H., Richoux P., Bournard M., P. Usseglio-Polatera 2000. Invertebres D'eau douce: systematique, biologie, ecologie. Paris, CNRS Editions: 587 str.

Toman T. 2007. Ocena ekološkega stanja reke Savinje po izgradnji centralne čistilne naprave Celje- Tremarje. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo: 75 str.

Urbanič G. 2003. Ključ za določanje družin ličink mladoletnic (Insecta: Trichoptera) v Sloveniji. Spremenjeno po Atlas der Österreichischen Köcherfliegenlarven. (Waringer, Graf, 1997).

Urbanič G., Toman M.J. 2003. Varstvo celinskih voda. Ljubljana, Študentska založba: 94 str.

Vallania A., Corigliano M.D.C. 2007. The effect of regulation caused by a dam on the distribution of the functional feeding groups of the benthos in the sub basin of the grande river (San Luis, Argentina). *Environmental Monitoring and Assessment*, 124, 1-3: 201-209

Wetzel R.G. 2001. *Limnology, Lake and River Ecosystems*. Third Edition. Academic Press: 1006 str.

Internetni viri:

Ocena ekološkega in kemijskega stanja rek v Sloveniji v letih 2007 in 2008. 2010. ARSO (marec 2010)

[http://www.arso.gov.si/vode/reke/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/POROCILO\\_RE\\_KE\\_2007\\_2008.pdf](http://www.arso.gov.si/vode/reke/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/POROCILO_RE_KE_2007_2008.pdf) (13. 2. 2012)

Monitoring kakovosti površinskih vodotokov v Sloveniji v letu 2006. 2008. ARSO (junij 2008)

[http://www.arso.gov.si/vode/reke/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/Porocilo\\_reke\\_2006.pdf](http://www.arso.gov.si/vode/reke/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/Porocilo_reke_2006.pdf) (13. 2. 2012)

Bilten Agencije RS za okolje. 2010. ARSO (avgust 2010)

[http://www.arso.gov.si/o%20agenciji/knji%c5%benica/mese%c4%8dni%20bilten/NASE%20OKOLJE\\_2010\\_08.pdf](http://www.arso.gov.si/o%20agenciji/knji%c5%benica/mese%c4%8dni%20bilten/NASE%20OKOLJE_2010_08.pdf) (26. 3. 2012)

Načrt za izvajanje ribiškega upravljanja v savinjskem ribiškem območju za obdobje 2011-2016. 2010. Za ribištvo Slovenije (november 2010)

[http://www.mkgp.gov.si/fileadmin/mkgp.gov.si/pageuploads/Ribogojstvo/Jan2011/Savinjsko\\_RO.pdf](http://www.mkgp.gov.si/fileadmin/mkgp.gov.si/pageuploads/Ribogojstvo/Jan2011/Savinjsko_RO.pdf) (26. 3. 2012)

Ortofoto posnetki vzorčnih mest

[http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas\\_Okolja\\_AXL@Arso](http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso) (2. 4. 2012)

## **ZAHVALA**

Mentorju prof. dr. Mihaelu J. Tomanu se zahvaljujem za vso pomoč in nasvete pri nastajanju diplomske naloge.

Predsedniku komisije doc. dr. Rudiju Verovniku in recenzentu doc. dr. Igorju Zelniku se zahvaljujem za pregled diplomske naloge in koristne pripombe.

Zahvaljujem se Mojci Hrovat in Maji Sever za velikodušno pomoč pri določanju velikih vodnih nevretenčarjev.

Za pomoč pri vzorčenju in laboratorijskemu delu se zahvaljujem tudi tehničnemu delavcu Draganu Abramcu.

Hvala sošolcem in sošolkam za nepozabna študentska leta.

Svoji družini se zahvaljujem za vso podporo tekom študija. Predvsem tebi mami hvala za vse spodbudne besede, potrpljenje in preprečevanje, da za dežjem vedno posije sonce.

Nazadnje se zahvaljujem še fantu Urošu za vso pomoč pri izdelavi naloge, za razumevanje, ko sem bila slabe volje, za spodbudne besede med dolgimi urami določanja, za sproščujoče proste dni in stalno podporo.

## **PRILOGE**

**Priloga A: Seznam in številčnost prisotnih taksonov velikih vodnih nevretenčarjev nabranih na treh vzorčnih mestih (P1, P2, P3) v reki Voglajni**

DATUM	25.8.2009			24.11.2009			24.8.2010		
VZORČNO MESTO	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
<b>TAKSON</b>									
<b>GASTROPODA</b>									
<b>Neritidae</b>									
<i>Theodoxus danubialis</i>	1	0	0	1	0	0	3	0	0
<b>Ancylidae</b>									
<i>Ancylus fluviatilis</i>	8	0	0	1	0	0	9	0	0
<b>Hydrobiidae</b>									
<i>Bythinella schmidti</i>	0	2	1	0	0	0	1	0	0
<b>Physidae</b>									
<i>Physa fontinalis</i>	0	3	2	0	0	0	0	0	0
<b>Viviparidae</b>									
<i>Viviparus viviparus</i>	9	9	0	1	0	0	80	0	0
<b>Lymnaeidae</b>									
<i>Radix ovata</i>	0	1	1	0	0	0	0	0	0
<b>Bithyniidae</b>									
<i>Bithynia tentaculata</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<b>BIVALVIA</b>									
<b>Sphaeridae</b>									
<i>Pisidium</i> sp.	0	0	1	0	0	0	4	0	0
<b>OLIGOCHAETA</b>									
<b>Naididae</b>									
<i>Nais</i> sp.	0	0	0	0	5	5	9	0	7
<i>Stylaria lacustris</i>	0	0	0	0	7	0	0	0	0
<i>Ophidonais serpentina</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<b>Tubificidae</b>									
Tubificidae s ščetinami	7	941	219	16	1035	236	14	21	283
Tubificidae brez ščetin	7	1046	479	24	1219	1188	100	226	1461
<i>Branchiura sowerbyi</i>	0	18	0	0	15	1	0	3	1
<b>Enchytraeidae</b>									
Enchytraeidae Gen. Sp.	0	0	0	0	1	0	0	0	4
<b>Lumbriculidae</b>									
Lumbriculidae z enostavnimi ščetinami	0	6	0	0	0	0	0	0	0
<i>Stylogrilus</i> sp.	16	16	19	8	26	106	5	5	26
<b>Haplotaxidae</b>									
<i>Haplotaxis gordioides</i>	0	0	0	0	0	0	0	2	0
<b>HIRUDINEA</b>									
<b>Erpobdellidae</b>									
<i>Erpobdella</i> sp.	1	6	230	0	2	63	0	9	98
<b>Glossiphoniidae</b>									
<i>Glossiphonia complanata</i>	0	1	6	0	0	0	0	0	2
<i>Helobdella stagnalis</i>	8	111	253	1	38	34	1	1	7
<i>Haementeria costata</i>	0	4	0	0	1	0	0	0	0
<b>Piscicolidae</b>									
<i>Piscicola geometra</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<b>AMPHIPODA</b>									
<b>Gammaridae</b>									
<i>Gammarus fossarum</i>	300	0	2	445	0	5	337	0	3

»se nadaljuje«

»nadaljevanje«

<b>ISOPODA</b>									
<b>Asellidae</b>									
<i>Asellus aquaticus</i>	0	0	13	0	0	0	0	0	11
<b>HYDRACARINA</b>	2	1	4	1	1	1	2	1	45
<b>EPHEMEROPTERA</b>									
<b>Baetidae</b>									
<i>Baetis</i> sp.	159	38	501	9	3	85	55	53	456
<i>Centroptilum luteolum</i>	2	0	0	0	0	0	1	0	0
<b>Heptageniidae</b>									
<i>Ecdyonurus</i> sp.	14	0	0	4	0	0	0	0	0
<b>Leptophlebiidae</b>									
<i>Habrophlebia fusca</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Paraleptophlebia submarginata</i>	0	0	0	3	0	0	1	0	0
<b>Ephemeridae</b>									
<i>Ephemera danica</i>	3	0	0	7	0	0	2	1	0
<b>Ephemerellidae</b>									
<i>Ephemerella major</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Torleya belgica</i>	19	0	0	7	0	0	31	0	0
<b>Caenidae</b>									
<i>Caenis</i> sp.	0	0	0	9	0	0	0	3	0
<b>PLECOPTERA</b>									
<b>Nemouridae</b>									
<i>Nemoura</i> sp.	1	0	0	1	0	0	2	0	0
<i>Nemurella</i> sp.	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<b>Leuctridae</b>									
<i>Leuctra</i> sp.	18	0	0	2	0	0	1	0	0
<b>ODONATA</b>									
<b>Calopterygidae</b>									
<i>Calopteryx virgo</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Calopteryx splendens</i>	0	0	0	0	0	0	2	0	1
<b>Gomphidae</b>									
<i>Gomphus vulgatissimus</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Onychogomphus forcipatus</i>	1	0	1	1	0	0	0	0	10
<b>HETEROPTERA</b>									
<b>Aphelocheiridae</b>									
<i>Aphelocheirus aestivalis</i>	9	0	0	7	0	0	9	0	0
<b>Corixidae</b>									
<i>Mikronecta</i> sp. – larva	0	0	0	2	0	0	1	0	0
<b>COLEOPTERA</b>									
<b>Gyrinidae</b>									
<i>Orectochilus villosus</i> – larva	7	0	0	6	0	0	2	0	0
<b>Elmidae</b>									
<i>Elmis</i> sp.	19	1	1	2	0	0	3	0	2
<i>Elmis</i> sp. – larva	7	0	0	9	0	0	9	0	2
<i>Esolus</i> sp.	5	0	0	2	0	0	0	0	16
<i>Esolus</i> sp. – larva	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Limnius</i> sp.	0	0	1	0	0	0	0	0	2
<i>Limnius</i> sp. – larva	28	1	3	49	0	3	21	0	16
<i>Oulimnius</i> sp.	1	0	1	1	0	1	2	1	9

»se nadaljuje«



»nadaljevanje«

<b>Hydraenidae</b>									
<i>Hydraena</i> sp.	6	0	2	3	0	0	0	2	2
<b>Curculionidae</b>	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<b>Dytiscidae</b>									
<i>Platambus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	2	0	0
<b>Hydrophilidae</b>									
<i>Laccobius</i> sp. – larva	0	0	0	0	0	0	0	0	3
<b>TRICHOPTERA</b>									
<b>Hydropsychidae</b>									
<i>Hydropsyche</i> sp.	84	0	10	31	1	4	105	12	227
<b>Sericostomatidae</b>									
<i>Sericostoma</i> sp.	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Goeridae</b>									
<i>Silo&amp;Lithax</i>	3	0	0	2	0	0	4	0	0
<i>Goera pilosa</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Philopotamidae</b>									
<i>Chimarra</i> sp.	4	0	0	9	0	0	6	0	1
<b>Hydroptillidae</b>									
<i>Stactobia</i> sp.	2	0	1	0	0	1	0	1	84
<b>Ecnomidae</b>									
<i>Ecnomus tenellus</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Leptoceridae</b>									
<i>Athripsodes</i> sp.	0	0	0	3	0	0	0	0	0
<i>Mystacides</i> sp.	0	0	0	0	0	0	4	1	2
<b>Polycentropodidae</b>									
<i>Polycentropus</i> sp.	0	0	0	2	0	0	0	0	0
<i>Cyrnus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	2	3	0
<b>Rhyacophilidae</b>									
<i>Rhyacophila</i> sp.	0	0	0	3	0	0	0	0	0
<b>Limnephilidae</b>									
<i>Apatania</i> sp.	0	0	0	3	0	0	0	0	0
<b>DIPTERA</b>									
<b>Simuliidae</b>									
<i>Simulium</i> sp.	1	16	62	65	6	163	0	0	3
<b>Chironomidae</b>									
Chironominae	53	64	87	29	118	103	45	7	80
<i>Chironomus obtusidens</i>	0	13	0	0	88	0	0	0	0
<i>Chironomus thummi</i>	0	8	0	0	28	0	0	0	0
<i>Chironomus plumosus</i>	0	1	0	0	1	0	0	0	0
Diamesinae	0	0	0	6	0	0	0	0	0
Tanytarsini	11	19	83	57	11	77	36	5	108
Orthocladiinae	2	33	264	9	33	91	19	1	25
Tanypodinae	3	39	43	2	2	4	21	1	26
<i>Prodiamesa olivacea</i>	7	62	215	34	9	23	15	3	18
<b>Limoniidae</b>									
<i>Antocha</i> sp.	1	0	0	7	0	1	2	0	1
<i>Eloeophila</i> sp.	1	0	0	2	0	0	0	0	0
<b>Pediciidae</b>									
<i>Dicranota</i> sp.	12	0	0	4	0	0	5	2	0
<b>Empididae</b>									
Clinocerinae	2	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Athericidae</b>									

»se nadaljuje«

»nadaljevanje«

<i>Atherix ibis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<b>Tabanidae</b>									
<i>Tabanus</i> sp.	3	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Tipulidae</b>									
<i>Tipula</i> sp.	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<b>Anthomyidae</b>									
<i>Limnophora</i> sp.	0	0	4	0	0	0	0	0	0

**Priloga B: Izmerjene vrednosti fizikalnih in kemijskih spremenljivk na vzorčnih mestih (P1, P2, P3) od avgusta 2009 do avgusta 2010**

DATUM	25. 8. 2009			24. 11. 2009			24. 8. 2010		
VZORČNA MESTA	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
<b>SPREMENLJIVKE</b>									
Temperatura (°C)	16,6	17,9	17,1	8,2	7,4	7,4	19,4	21,8	20,8
Koncentracija kisika (mg/L)	7,0	4,9	4,4	9,1	8,5	7,4	6,7	7,1	6,2
Nasičenost vode s kisikom (%)	71	52	45	77	72	63	77	84	73
pH	7,1	7,3	7,3	7,8	7,8	7,7	8,2	8,1	8,1
Elektroprevodnost (µS/cm)	390	500	490	479	573	571	383	485	491
Koncentracija NO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	3,63	1,81	2,81	2,63	4,55	4,29	2,93	2,13	1,71
Koncentracija PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	*	0,16	*	*	0,18	0,12	*	*	0,14
SSS (mg/L)	7,2	130,0	7,8	1,0	9,0	2,0	2,2	4,0	0,1

\*pod mejo detekcije

Priloga C: Zemljevid vzorčnih mest (P1, P2, P3) in centralne čištilne naprave (CČN)  
(Vir: [http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas\\_Okolja\\_AXL@Arso](http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso))



UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Danijela KODRNJA

**VPLIV ČISTILNE NAPRAVE NA STRUKTURO  
ZDRUŽBE BENTOŠKIH NEVREtenČARJEV V  
ORGANSKO OBREMENJENEM VODOTOKU  
VOGLAJNA**

DIPLOMSKA NALOGA

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2012